



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio de sistemas fotovoltaicos para
autoconsumo en viviendas unifamiliares
con sistema de aerotermia

Study of photovoltaic systems for self-consumption
in single-family homes with aerothermal system

Autor

Javier Roldán Aguas

Director

Miguel Ángel García Olivera

Ponente

Ángel Antonio Bayod Rújula

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza, 2020

- Resumen -

En el presente proyecto de final de grado, realizado en colaboración con la empresa aragonesa SUMICAR-PROPIBSA, se propone una tipología de sistema híbrido fotovoltaico-aerotérmico óptimo para viviendas unifamiliares en las que la climatización y el ACS se logran mediante una instalación basada en bomba de calor. La implantación de este prototipo de instalación tendrá como principal objetivo autoconsumir la mayor cantidad posible de energía eléctrica producida por el sistema de generación fotovoltaico y, de forma paralela, minimizar la inversión necesaria para la puesta en marcha de la instalación. Por otra parte, se presenta un modelo completo de dimensionamiento del subsistema eléctrico-fotovoltaico de la instalación propuesta para viviendas unifamiliares en función del sistema de aerotermia instalado y del ángulo acimutal de la irradiancia percibida por los módulos. Este modelo permitirá a la entidad colaboradora del proyecto ofrecer un sistema fotovoltaico óptimo a sus clientes en base al equipo aerotérmico elegido para satisfacer la climatización y el ACS de una vivienda unifamiliar tipo en la provincia de Zaragoza.

- Abstract -

The current end-of-grade project, carried out in collaboration with the Aragonese company SUMICAR-PROPIBSA, presents a photovoltaic-hydraulic installation optimal for single-family homes in which air-conditioning and DHW are achieved by means of an aerothermal system. The main objective of the implementation of this installation will be the self-consumption of the greatest amount of electrical energy produced by the photovoltaic generation system while minimising the investment required to start up the installation. On the other hand, a complete model of the sizing of the electric-photovoltaic subsystem of the proposed installation for single-family houses is presented, depending on the installed aerothermal system and the azimuth angle of the irradiance perceived by the modules. This model will allow the collaborating entity of the project to offer an optimal photovoltaic system to its clients based on the aerothermal equipment chosen to satisfy the air conditioning and the DHW of a typical single-family home in the province of Zaragoza.

INDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	4
 Capítulo 1: INTRODUCCIÓN.....	6
1.1) Presentación de la problemática y objetivos	6
1.2) Esquema del proyecto y metodología a seguir	7
1.3) Marco normativo español para la aerotermia y la fotovoltaica en la actualidad	9
1.3.1) <i>Regulación energética del Código Técnico de la Edificación (2019).....</i>	<i>9</i>
1.3.2) <i>Soluciones óptimas para cumplimentar el documento de Regulación energética del nuevo CTE</i>	<i>10</i>
1.3.3) <i>Autoconsumo fotovoltaico (Real Decreto 244/2019).....</i>	<i>11</i>
1.3.4) <i>Factores a tener en cuenta en el autoconsumo – Precio de venta excedentaria... 12</i>	
 Capítulo 2: PROPUESTA DEL SISTEMA HÍBRIDO AEROTÉRMICO-FOTOVOLTAICO ÓPTIMO	15
2.1) Tipologías usuales de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial	15
2.1.1) <i>Sistemas fotovoltaicos aislados de la red.....</i>	<i>16</i>
2.1.2) <i>Sistemas fotovoltaicos conectados a la red</i>	<i>17</i>
2.1.3) <i>Sistemas fotovoltaicos conectados a la red con baterías de apoyo.....</i>	<i>18</i>
2.1.4) <i>Comparación y conclusiones</i>	<i>19</i>
2.2) Sistema fotovoltaico conectado a la red con almacenaje térmico	19
2.2.1) <i>Subsistema hidráulico aerotérmico.....</i>	<i>21</i>
2.2.2) <i>Subsistema eléctrico fotovoltaico - HelioPV.....</i>	<i>27</i>
 Capítulo 3: ANÁLISIS PREVIOS AL DIMENSIONADO	36
3.1) Elección de tarifa eléctrica y modalidad de autoconsumo	36
3.1.1) <i>Tarifa regulada PVPC</i>	<i>36</i>
3.1.2) <i>Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada</i>	<i>39</i>
3.2) Análisis de consumos eléctricos de viviendas unifamiliares con aerotermia	40
3.2.1) <i>Consumo eléctrico doméstico.....</i>	<i>41</i>
3.2.2) <i>Consumo eléctrico de la bomba de calor para ACS.....</i>	<i>43</i>
3.2.3) <i>Consumo eléctrico de la bomba de calor para climatización.....</i>	<i>45</i>
3.2.4) <i>Consumo eléctrico total de la vivienda.....</i>	<i>48</i>

Capítulo 4: DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ÓPTIMO	50
4.1) Análisis de la irradiancia en la zona de estudio (ZARAGOZA).....	50
4.2) Cálculo del Performance Ratio (PR) del sistema fotovoltaico.....	54
4.3) Análisis de la producción energética del sistema fotovoltaico	60
4.4) Análisis de la potencia pico ideal para cada tipología de vivienda con aerotermia.....	62
 Capítulo 5: CONCLUSIONES	66
5.1) Resumen del trabajo realizado.....	66
5.2) Resultados obtenidos	68
 BIBLIOGRAFÍA.....	69
 Anexo I: CONTEXTO ENERGÉTICO	71
I.I) En Europa.....	74
I.II) En España	76
I.III) En Aragón	79
I.IV) COVID-19.....	80
 Anexo II: AEROTERMIA	82
II.I) Introducción a la aerotermia	82
II.II) Tipologías de sistemas aerotérmicos	83
II.III) Funcionamiento teórico de las bombas de calor	85
II.IV) Análisis de rendimientos de las bombas de calor	88
II.V) Factores a favor y en contra de la aerotermia	89
II.VI) Sistemas aerotérmicos SAUNIER DUVAL	90
II.VII) Equipos térmicos de distribución de calor para sistemas de aerotermia.....	95
II.VIII) Suelo radiante	96
II.VIII.I) <i>Definición</i>	96
II.VIII.II) <i>Ventajas y desventajas</i>	97
II.VIII.III) <i>Componentes</i>	98
II.IX) Fundamento teórico para el cálculo de cargas térmicas de calefacción/refrigeración. .	101
II.IX.I) <i>Cálculo de carga térmica latente</i>	102
II.IX.II) <i>Cálculo de carga térmica sensible</i>	106
II.X) Cálculo de cargas térmicas de una vivienda unifamiliar mediante flujo de trabajo BIM	107
II.X.I) <i>Modelo físico de una vivienda unifamiliar mediante IFC Builder</i>	108

II.X.II) <i>Cálculo de las cargas térmicas de una vivienda unifamiliar mediante CYPETHERM LOADS</i>	111
II.XI) Cálculo de potencia para producción de ACS de una vivienda unifamiliar.....	127
II.XII) Potencia total de climatización y ACS	131
II.XIII) Elección de la bomba de calor.....	132
Anexo III: FOTOVOLTAICA	134
III.I) Introducción a la fotovoltaica.....	134
III.I.I) <i>La energía solar</i>	134
III.I.II) <i>La energía solar fotovoltaica – El efecto fotoeléctrico</i>	137
III.II) Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica	141
III.III) Tipologías de sistemas fotovoltaicos.....	142
III.III.I) <i>Sistemas aislados de la red</i>	142
III.III.II) <i>Sistemas conectados a la red</i>	143
III.III.III) <i>Sistemas conectados a la red con baterías de apoyo</i>	144
III.IV) Componentes de un sistema fotovoltaico	145
III.IV.I) <i>Módulos fotovoltaicos</i>	145
III.IV.II) <i>Baterías</i>	150
III.IV.III) <i>Regulador de carga</i>	152
III.IV.IV) <i>Inversor</i>	153
III.IV.V) <i>Cableado</i>	156
III.IV.VI) <i>Elementos de protección</i>	157
III.V) Rendimientos y pérdidas en un sistema fotovoltaico.....	159

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figuras

Figura 1: Portada del documento básico de ahorro de energía del CTE (a diciembre de 2019)

Figura 2: Tipos de autoconsumo según la Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo [6]

Figura 3: Energía consumida, producida y compensada en una instalación de autoconsumo

Figura 4: Evolución del precio de compra de electricidad y de venta de excedente fotovoltaico a la red a día 22 de Julio de 2020 en el mercado regulado

Figura 5: Esquema básico de un sistema fotovoltaico aislado de la red

Figura 6: Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red

Figura 7: Esquema básico de un sistema conectado a la red con baterías de apoyo

Figura 8: Esquema básico de la instalación global

Figura 9: Plano en perspectiva caballera de los distintos modelos de Genia Air compacta [8]

Figura 10: Ficha técnica de la bomba de calor Genia Air compacta [8]

Figura 11: Radiador de baja temperatura

Figura 12: Fan-coil

Figura 13: Suelo radiante

Figura 14: Distribución de temperatura interior según varios sistemas de calefacción

Figura 15 Esquema eléctrico del pack HelioPV de 4 kW

Figura 16: Oferta comercial del pack HelioPV en el catálogo de SAUNIER-DUVAL 2020

Figura 17: Tipos de paneles fotovoltaicos según el material de sus células

Figura 18: Ficha técnica de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

Figura 19: Plano de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

Figura 20: Esquema de conexión en serie de varios módulos fotovoltaicos

Figura 21: Esquema de conexión en paralelo de varios módulos fotovoltaicos

Figura 22: Curva de rendimiento de un inversor

Figura 23: Ficha técnica de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

Figura 24: Plano de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

Figura 25: Distribución de horario para los periodos de punta y valle en invierno y verano

Figura 26: Evolución del precio del kW según el mercado regulado a día 5 de agosto de 2020

Figura 27: Precio de compra de la energía frente a precio de compensación de la energía excedentaria

Figura 28: Gráfica que representa el consumo eléctrico doméstico de la vivienda analizada (Fuente propia)

Figura 29: Evolución del consumo eléctrico de cada tipología de bomba de calor para ACS

Figura 30: Calculadora de la página web de SAUNIER DUVAL

Figura 31: Resultados del consumo eléctrico de la GENIA AIR 8 dados por la calculadora de SAUNIER DUVAL

Figura 32: Evolución del consumo eléctrico de una bomba de calor en la localidad de Soria

Figura 33: Evolución del consumo eléctrico de los modelos de bomba de calor de SAUNIER DUVAL para climatización

Figuras 34, 35, 36 y 37: Consumo eléctrico anual de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia GENIA AIR (Individualmente)

Figura 38: Evolución del consumo eléctrico anual de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia GENIA AIR 5, 8, 11 y 15

Figura 39: Tabla 2 del Pliego de Condiciones Técnicas (IDAE) [11]

Figura 40: Interfaz de la herramienta online PVGIS [11]

Figura 41: Evolución de la irradiancia en Zaragoza en función del ángulo de azimut para un ángulo de inclinación fijo de 35º

Figura 42: Evolución de la irradiancia en Zaragoza en función del ángulo de inclinación para un ángulo de azimut de 0º

Figura 43: TONC y variación de la potencia en función de la temperatura del módulo fotovoltaico a estudiar

Figura 44: Perfil de trayectoria de la radiación solar para una localización dada [12]

Figura 45: Eficiencias de los modelos de inversor de la gama HeliPV

Figura 46: Evolución del Performance Ratio estimado del sistema fotovoltaico HeliPV a lo largo del año

Figura 47: Potencias nominales de salida del inversor de cada sistema HeliPV

Figura 48: Evolución de la producción energética del sistema fotovoltaico HeliPV 3.0 para un plano de irradiancia de azimut 0º

Figura 49: Curvas de producción energética de los sistemas HeliPV para una orientación de 15º frente a curva de consumo de una vivienda con GENIA AIR de 8 kW

Tablas

Tabla 1: Tareas y niveles de prioridad del gestor de energía PV-READY (Fuente propia)

Tabla 2: Factura de la vivienda a estudiar (Propietario: Tutor del proyecto académico)

Tabla 3: Consumo eléctrico doméstico mensual de la vivienda a estudiar (Propietario: Tutor del proyecto académico)

Tabla 4: Consumo eléctrico mensual de la bomba de calor para la producción de ACS en función del sistema de aerotermia

Tabla 5: Consumo eléctrico mensual de la bomba de calor para climatización en función del sistema de aerotermia

Tabla 6: Consumo eléctrico anual total de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia GENIA AIR de 5, 8, 11 y 15 kW

Tabla 7: Irradiancia según ángulo azimutal para un ángulo de inclinación fijo de 35º

Tabla 8: Irradiancia en Zaragoza según ángulo de inclinación para un ángulo de azimut fijo de 0º

Tabla 9: Temperatura de operación de las células fotovoltaicas en función del mes

Tabla 10: Variación de la potencia producida por los módulos fotovoltaicos en función de su temperatura de operación real

Tabla 11: Estimación del Performance Ratio del sistema fotovoltaico HeliPV en función del mes

Tabla 12: Producción energética mensual de los sistemas de generación fotovoltaica HeliPV en función de la orientación de los módulos

Tabla 13: Consumos eléctricos totales de cada tipología de vivienda según la potencia de la bomba de calor instalada

Tabla 14: Producciones energéticas en función del ángulo azimutal de la irradiancia y la potencia pico del sistema HeliPV escogido

Tabla 15: Sistemas fotovoltaicos HeliPV óptimos para cada combinación de irradiancia y tipología de vivienda

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación de la problemática y objetivos

En la actualidad, las bombas de calor aerotérmicas constituyen el método más eficiente para la climatización y el acondicionamiento del agua caliente sanitaria (ACS) de una vivienda unifamiliar. El aumento de la exigencia de la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción por parte de los gobiernos, sumado a la gran rentabilidad económica de estos equipos, indica que el futuro de la tecnología aerotérmica es prometedor. Como consecuencia, la sustitución de los dispositivos térmicos para calefacción, como las calderas de combustión, por otros más eficientes, sostenibles y económicos, es sólo el comienzo de un proceso inevitable de electrificación del sector residencial que ocurrirá durante las próximas décadas en todo el planeta. En este escenario venidero, se prevé con toda seguridad que la dependencia en el ámbito doméstico de combustibles fósiles, como el gas natural, se verá enormemente reducida gracias a la popularización de tecnologías de climatización más innovadoras y eficaces como la estudiada en este documento, la aerotermia. Los sistemas de aerotermia son equipos que aprovechan la energía térmica del ambiente para calentar o refrigerar una edificación. Al utilizar energía proveniente del sol, se consideran una tecnología renovable y, además, estos sistemas están basados en bombas de calor las cuales permiten eficiencias muchísimo más altas que cualquier otro equipo favoreciendo así la imperiosa necesidad de mejorar la eficiencia energética global comentada anteriormente.

Por otra parte, desde la empresa colaboradora del presente proyecto de final de grado, SUMICAR-PROPIBSA, se pronostica que el futuro proceso de electrificación doméstica originará una gran demanda de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial de nuestro país. Esta elevada demanda surgirá de la necesidad de los usuarios domésticos de satisfacer el consumo eléctrico de sus viviendas mediante una tecnología limpia y económicamente rentable que les permitirá reducir o incluso anular la dependencia energética a la que están sometidos. Mediante paneles solares fotovoltaicos, una vivienda puede producir su propia energía eléctrica disminuyendo la cantidad de electricidad que consumirá de la red, favoreciendo el desuso de energía no renovable y obteniendo además una reducción substancial en la factura mensual de luz. Añadido a este futuro marco de libertad energética, es importante añadir que las últimas medidas renovables impuestas por el gobierno, como el Real Decreto 244/2019, han supuesto un cambio drástico muy positivo para el autoconsumo energético en España lo cual favorecerá la aparición de instalaciones fotovoltaicas en muchas de las viviendas unifamiliares de nuestro país.

Como se ha razonado en los párrafos anteriores, el proceso de electrificación del sector residencial y la aparición de facilidades gubernamentales para aquellas personas que deseen autoconsumir su propia electricidad, originarán un aumento del uso de energía solar fotovoltaica y un aumento del uso de bombas de calor, temas protagonistas en este proyecto académico. Por este motivo y por los comentados anteriormente, parece lógica la propuesta de utilizar ambas tecnologías en una misma vivienda unifamiliar. No cabe duda de que la hibridación de sistemas aerotérmicos y fotovoltaicos, a pesar de ser un tema poco estudiado, cumplirá un papel fundamental en el proceso de transición energética mundial.

Así pues, el objetivo de este proyecto académico será aportar una solución a un potencial cliente de la empresa colaboradora el cual requiera un sistema fotovoltaico óptimo para abastecer una vivienda unifamiliar con una instalación aerotérmica. Para la elaboración de esta solución, será necesario diferenciar el proyecto en dos tramos; la presentación de un sistema híbrido aerotérmico-fotovoltaico óptimo para una vivienda unifamiliar y el dimensionamiento correcto del subsistema fotovoltaico en función del subsistema aerotérmico elegido.

1.2 Esquema del proyecto y metodología a seguir

A continuación, se presentarán los distintos capítulos y anexos que compondrán el documento y se realizará una breve explicación de los temas a tratar en cada uno de ellos:

En el “*Capítulo 1*” se introducirá al lector a la problemática generadora de la realización del proyecto. También se comentarán las bases de las tecnologías protagonistas (aerotermia y fotovoltaica) para finalmente establecer el objetivo final del documento.

En el “*Capítulo 2*”, para comenzar, se estudiarán las tipologías de sistemas fotovoltaicos más comunes en el sector residencial. Tras realizar una comparación, se propondrá una tipología de sistema híbrido aerotérmico-fotovoltaico capaz de autoconsumir la mayor cantidad posible de energía fotovoltaica a la vez que minimizar los costes referidos a la inversión inicial de la instalación presentada. Este sistema híbrido estará compuesto por equipos comercializados por el fabricante SAUNIER-DUVAL que también se analizarán de forma más específica.

En el “*Capítulo 3*” se realizarán dos análisis necesarios para el posterior dimensionado del subsistema fotovoltaico óptimo. El primero se centrará en establecer la tarifa eléctrica más barata y en elegir la modalidad de autoconsumo idónea para el propósito de la vivienda tipo a tratar. El segundo análisis consistirá en un cálculo estimado del consumo eléctrico total de una vivienda unifamiliar que disponga de distintas tipologías de bombas de calor aerotérmicas.

En el “*Capítulo 4*” se realizará el dimensionado del subsistema fotovoltaico óptimo para cada tipología de vivienda unifamiliar en función de su sistema aerotérmico instalado y el ángulo acimutal de la irradiancia que percibirán los módulos fotovoltaicos.

En el “*Anexo I*” se presenta el contexto energético mundial, europeo y aragonés en el que se sitúa la temática del proyecto.

En el “*Anexo II*” se explica el marco teórico necesario para la comprensión de todos los conceptos utilizados en la realización del proyecto referidos a la aerotermia.

En el “*Anexo III*” se explica el marco teórico necesario para la comprensión de todos los conceptos utilizados en la realización del proyecto referidos a la fotovoltaica.

En lo referente a la metodología que se llevará a cabo para la realización del proyecto, el procedimiento que se seguirá se podrá dividir en tres fases distintas: estudio, cálculo y redacción.

❖ Estudio

La primera etapa de la elaboración del presente proyecto de fin de grado consistirá en un estudio en profundidad del marco teórico necesario para la posterior realización de las demás fases del proyecto y para una correcta exposición ante el tribunal evaluador. Este estudio se centrará en los dos temas protagonistas del informe; la aerotermia y la fotovoltaica.

- Aerotermia: Teniendo en cuenta que la entidad colaboradora del proyecto se trata de una empresa dedicada a la comercialización de sistemas de climatización, (entre ellos, equipos aerotérmicos) se buscará un aprendizaje dual basado en la consulta de documentos vía online y la aportación de saber y experiencia por parte de los ingenieros de SUMICAR-PROPIBSA. De forma paralela a la instrucción, se realizará un informe correctamente redactado que recopilará todo el conocimiento ganado sobre las instalaciones aerotérmicas durante esta fase del estudio. Además de aprender sobre el funcionamiento teórico de esta tecnología, también se buscará estudiar la metodología necesaria para el dimensionado de un sistema aerotérmico para una vivienda unifamiliar. De forma idéntica al caso anterior, se redactará un informe que recoja el modo de aplicación de esta metodología y un ejemplo de cálculo de dimensionado (cálculo de cargas térmicas) de un sistema aerotérmico para una vivienda unifamiliar supuesta. Finalmente, se unificarán ambos informes dando lugar al “*Anexo II - AEROTERMIA*”.
- Fotovoltaica: Respecto al estudio referido a la energía fotovoltaica, se empleará todo tipo de material en la nube sumado a la consulta del libro “*Sistemas Fotovoltaicos*”, de Ángel Antonio Bayod Rújula. Será importante tomar en consideración que la empresa colaboradora no se dedica a esta rama de la ingeniería por lo que no podrá ofrecer ayuda técnica. Igual que en el caso anterior, todo el conocimiento obtenido acerca de la energía fotovoltaica se reflejará en un informe que se presentará como el “*Anexo III - FOTOVOLTAICA*”.

❖ Cálculo

La segunda fase de la ejecución del proyecto se centrará en la realización de todos los cálculos, tablas y gráficas necesarios para el cumplimiento del objetivo presentado en el abstracto. Mediante esta metodología de trabajo se elaborarán distintos análisis (irradiancias, consumos, producción...) que se presentarán en una hoja de Excel adjunta al proyecto.

❖ Redacción

Por último, la tercera fase de la elaboración del proyecto consistirá en la redacción y explicación del cuerpo principal del proyecto. Para este proceso se utilizarán como base y punto de partida los conocimientos teóricos registrados en los anexos y los análisis obtenidos a partir de la fase de cálculo reflejados en la hoja de Excel adjunta.

1.3 Marco normativo español para la aerotermia y la fotovoltaica en la actualidad

1.3.1 Regulación energética del Código Técnico de la Edificación (a diciembre de 2019)

A comienzos del mes de diciembre del año pasado, en nuestro país se aprobó un nuevo Código Técnico de la Edificación [1] (de ahora en adelante CTE) según el cual, todas las licencias de obra expedidas a partir del 28 de junio de 2020 deben cumplimentar los requerimientos energéticos estipulados en dicho documento. En este apartado se comentarán brevemente los conceptos más importantes del documento básico del CTE encargado de legislar la normativa del ahorro energético en el sector residencial, el DB-HE [2]. Este informe se subdivide en seis secciones distintas, numeradas del cero al cinco, en las que se establecen las reglas y los procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía.

Documento Básico **HE**

Ahorro de energía

- HE0 Limitación del consumo energético
- HE1 Condiciones para el control de la demanda energética
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica

Figura 1: Portada del documento básico de ahorro de energía del CTE (a diciembre de 2019)

La primera sección, HE 0, tiene como objetivo la limitación del consumo energético de la calefacción, ACS, ventilación y control de la humedad en función de la zona climática de invierno de su ubicación y del uso del edificio. Esta limitación se implementa a través de dos valores límites, el consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,nren}$) y el consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$), añadido en esta última actualización del CTE, que como sus propios nombres indican, regulan el consumo de energía límite no renovable y total al cual está fijado el edificio. De esta forma, una vivienda localizada en Zaragoza (Zona climática D) dispone de unos consumos límites mayores que otra localizada en Almería (Zona climática A) debido a una mayor severidad del invierno de la localidad maña. Mediante esta sección se busca que los equipos de climatización de las viviendas sean lo más eficientes posibles para así poder reducir el consumo energético y cumplir con dichos límites de energía primaria.

La segunda sección, HE 1, establece un control de la demanda energética evaluando las características de las envolventes térmicas de las edificaciones con el objetivo de limitar las necesidades energéticas primarias para alcanzar el confort térmico. Entre estas características se pueden destacar la transmitancia térmica (U) y el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K), valores a los que se les imponen ciertos límites con el fin de mejorar la calidad de los aislamientos en las viviendas de nuestro país. También es fundamental el parámetro conocido como control solar (q_{soljul}) que cuantifica la capacidad del edificio para bloquear la radiación solar, muy importante en zonas climáticas con veranos calurosos. Por último, mencionar las horas fuera de consigna, parámetro que contabiliza el número de horas a lo largo del año en las que cualquiera de los espacios habitables del edificio se sitúa fuera del rango de temperaturas de consigna de calefacción o refrigeración, el cual no puede representar más de un 4% del tiempo total de ocupación de ese espacio en concreto.

La quinta sección, HE 4, estipula que los edificios de nueva construcción deberán satisfacer sus necesidades de ACS y de climatización de piscina empleando en gran medida energía procedente de fuentes renovables. Esta contribución mínima de energía limpia deberá cubrir el 60% o el 70% de la demanda energética anual en función del volumen de agua diario a calefactar, siendo independiente de la zona climática en la que se ubique la vivienda. En el caso que incumbe a este proyecto, las bombas de calor destinadas a la producción de ACS y/o climatización de piscinas deberán disponer de un valor de rendimiento estacional (SCOP) superior a 2,5 el cual se evaluará mediante la norma EN 16147 [3].

En cuanto al resto de secciones del documento, el apartado HE 2 hace referencia a las condiciones de las instalaciones térmicas y viene desarrollado en otro documento, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [4], por lo que no se tratará en este capítulo. De la misma forma, tampoco se profundizará en la sección HE 3 por tratar temas de iluminación ni en la HE 5 por no ser de aplicación en el sector doméstico.

1.3.2 Soluciones óptimas para cumplimentar el documento de Regulación energética del nuevo CTE

Una vez presentadas las limitaciones que exige el CTE a día de hoy, puede surgir la pregunta de cuáles son las tecnologías óptimas para satisfacer la demanda energética de una vivienda cumpliendo con los requerimientos de este informe. Lo cierto es que no hay una tipología de sistema idónea para una vivienda, sino que, en función de diversos factores como el aislamiento, la zona climática, el tamaño y la humedad, será más eficiente emplear un equipo u otro. Sin embargo, analizando una casuística lo más generalista posible, la solución óptima estimada, principalmente por ser válida para cualquier climatología y por ser capaz de dar servicio a todas las necesidades (ACS, calefacción y refrigeración), probablemente sea la bomba de calor aerotérmica. La solución tradicional de caldera y sistema solar térmico sigue siendo válida, no obstante, la aparición de nuevas tecnologías de climatización Y ACS con mayores eficiencias le están quitando protagonismo debido a esta diferencia de rendimientos.

Si bien es cierto que el CTE no especifica una tecnología concreta y admite un abanico muy amplio de instalaciones, como se comenta, de todos ellos, un sistema aerotérmico es la solución más atractiva de todas. La continua electrificación de la demanda energética, la posibilidad de cubrir todas las necesidades con una misma instalación y la capacidad de los equipos de funcionar en prácticamente cualquier zona climática hacen de ella el candidato ideal. Además, numerosos estudios realizados en los últimos años sugieren que la hibridación de este sistema junto con paneles solares fotovoltaicos la convierten en una tecnología, si cabe, mucho más interesante.

1.3.3 Autoconsumo fotovoltaico (Real Decreto 244/2019)

Hace 5 años, mediante la aprobación del Real Decreto 900/2015, se creó el famoso impuesto al Sol en nuestro país. Dicho impuesto exigía que los individuos que produjeran su propia energía eléctrica, es decir, que autoconsumieran electricidad, tuvieran que pagar un importe, en concepto de costes y servicios del sistema, por seguir conectados a la red eléctrica, aunque no hicieran uso de ella. Años más tarde, el cambio de gobierno conllevó la aprobación del Real Decreto 244/2019 [5], el cual eliminó este impuesto favoreciendo tanto el autoconsumo eléctrico como la transición energética en nuestro país. En este apartado, se comentarán los aspectos más importantes del informe en cuanto a materia fotovoltaica.

Como se está mencionado, el Real Decreto 244/2019 tiene como objetivo el regular las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica [5]. Antes de nada, es importante entender que el autoconsumo es la modalidad a la cual se acogen las instalaciones fotovoltaicas con conexión a red eléctrica. Las instalaciones solares aisladas de la red y las instalaciones fotovoltaicas cuyo objetivo es la venta de energía no se incluyen en la legislación del autoconsumo. Una vez entendido esto, el Real Decreto 244/2019 diferencia entre dos tipos de modalidades de autoconsumo:

- ❖ Autoconsumo sin excedentes: Instalaciones fotovoltaicas en las cuales no se vierte nada de energía solar a la red eléctrica gracias a la inclusión de un dispositivo antivertido.
- ❖ Autoconsumo con excedentes: Instalaciones fotovoltaicas que, en los momentos en los que la producción solar sea mayor a la demanda, verterán energía a la red eléctrica. Dentro de esta modalidad se distinguen dos categorías:
 - Excedentes acogidos a compensación simplificada: En estas instalaciones, la energía eléctrica vertida a la red será compensada al usuario por parte de la comercializadora mediante una reducción de la factura eléctrica. A esta modalidad sólo pueden acogerse las instalaciones con potencias inferiores a 100 kW por lo que, al centrarse el proyecto en el sector residencial, será la opción que se estudiará a lo largo del mismo.
 - Excedentes no acogidos a compensación simplificada: En estas instalaciones, la energía producida excedente se verterá a la red en régimen de venta, no de compensación. Este tipo de sistemas deberán disponer de una potencia superior a 100 kW y el precio de venta de la energía excedentaria será el dispuesto por la legislación de instalaciones generadoras de electricidad.

En la siguiente tabla, podemos observar los distintos tipos de autoconsumo individual o colectivo al que se puede acogerse actualmente en nuestro país. En este proyecto no se va a profundizar en la tramitación del autoconsumo, para ello se recomienda consultar la Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo [6] elaborada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), en concreto, el apartado de “Tramitación Autonómica” y el subapartado “En Aragón” donde se explica con detalle los pasos necesarios para certificar una instalación de autoconsumo en nuestra comunidad autónoma.



Figura 2: Tipos de autoconsumo según la Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo [6]

1.3.4 Factores a tener en cuenta en el autoconsumo – Precio de venta excedentaria

Insistiendo con lo que se ha mencionado en el apartado anterior, la modalidad de autoconsumo en la cual se centrará el proyecto será la de “Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada”. En esta tipología de autoconsumo, los usuarios producirán su propia energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos la cual utilizarán para cubrir su demanda energética a lo largo del día. En los momentos puntuales en los que la producción solar supere a la demanda, esta diferencia de electricidad se verterá a la red conllevando una disminución en la factura eléctrica proporcional a la energía vertida. En la siguiente figura podemos observar el consumo, producción y energía vertida a la red. Como es lógico, normalmente, los momentos de exceso de producción coincidirán con las horas de mayor irradiancia solar, generalmente a mediodía.

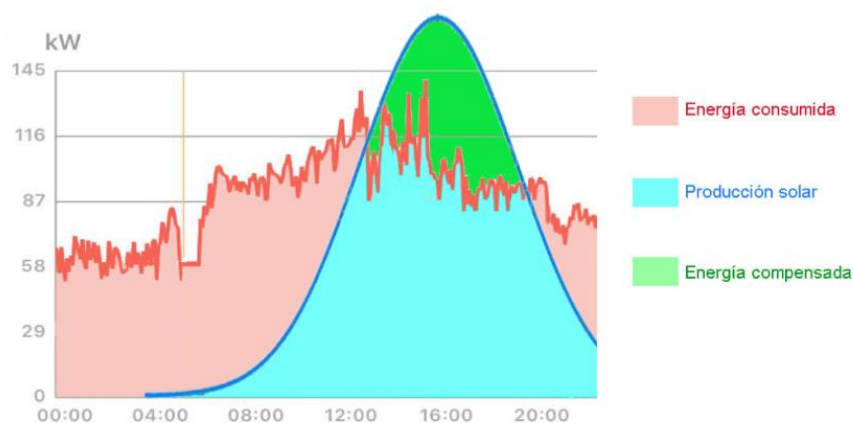


Figura 3: Energía consumida, producida y compensada en una instalación de autoconsumo

Hasta ahora, la situación expuesta parece muy esperanzadora; el impuesto al sol ha desaparecido dando lugar a una modalidad mediante la cual se puede vender la electricidad que produzcamos y no utilicemos, sin embargo, surge una cuestión fundamental de la que depende la rentabilidad del autoconsumo, ¿A qué precio vamos a vender nuestros excedentes fotovoltaicos?

La respuesta a esta pregunta no es fija, sino que el precio de venta dependerá de la comercializadora eléctrica con la que el usuario decida trabajar. Actualmente el precio de los excedentes fotovoltaicos está rondando de los 4 a los 6 céntimos de euro por kW vertido a la red, sin embargo, esta cuantía depende de en qué tipo de mercado se opere y qué tipo de tarifa se quiera implementar en la vivienda. Este tema se tratará más a fondo en el capítulo destinado al análisis de la modalidad de autoconsumo, sin embargo, para entender la diferencia de los precios de compra y venta de electricidad es interesante analizar la siguiente figura sacada de la página web de la Red Eléctrica de España [7].

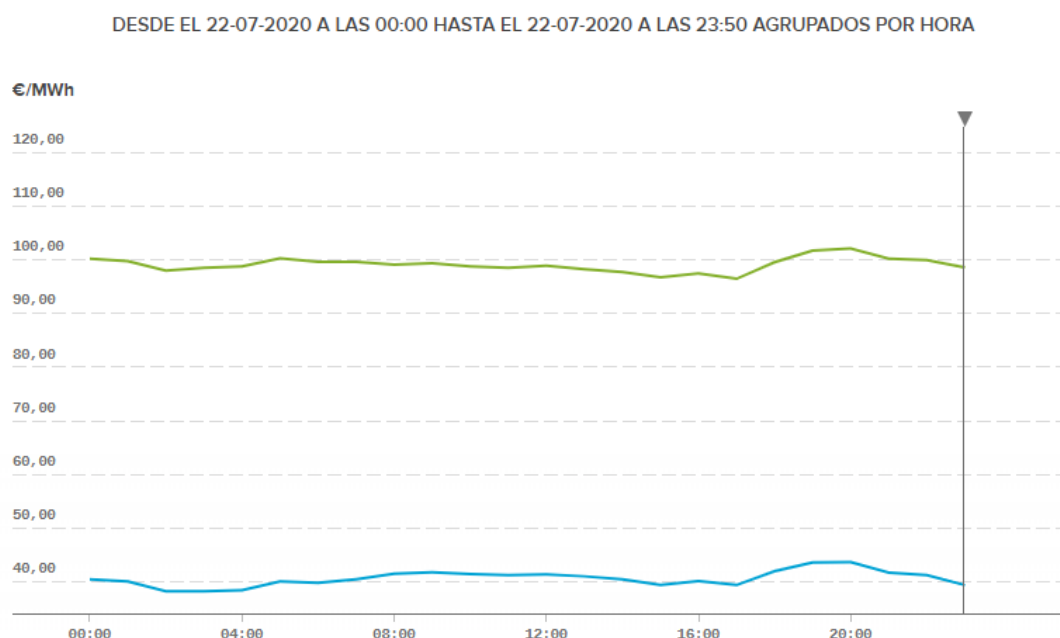


Figura 4: Evolución del precio de compra de electricidad y de venta de excedente fotovoltaico a la red a día 22 de Julio de 2020 en el mercado regulado

La Figura 39 [7] nos muestra la evolución del precio de compra de la electricidad (curva verde) y el precio de venta de los excedentes fotovoltaicos que produzca una instalación de autoconsumo (curva azul) a día de 22 de Julio de 2020 en el mercado regulado. Para contabilizar esta diferencia, se calcula la media de cada precio:

- ❖ Precio de compra: **0,09862 €/kW**
- ❖ Precio de venta de excedentes: **0,03941 €/kW**

Como muestran los números, el precio al que se van a vender nuestros excedentes representa aproximadamente un cuarto del precio de compra. Viendo este dato, se entiende que no es lógico en términos de rentabilidad económica vender energía excedentaria a la red en nuestro país. Por este motivo, un dimensionado correcto de una instalación fotovoltaica que minimice la producción excedentaria de energía eléctrica es de vital importancia.

Como conclusión de este apartado, a pesar del problema de rentabilidad que origina el precio de venta tan bajo de la energía excedentaria, es innegable que el Real Decreto 244/2019 ha supuesto una gran mejora en cuanto al impulso de la energía fotovoltaica en España. Gracias a esta medida han surgido diversos servicios de los cuales se pueden beneficiar los usuarios que decidan unirse a la modalidad de autoconsumo con excedentes. Por ejemplo, a día de hoy, existe la posibilidad de ceder el tejado de tu propiedad a una empresa externa y recibir ingresos por la producción solar generada. Esta prestación permite al propietario autoconsumir la energía generada por el sistema colocado por la empresa externa y a su vez cobrar parte del ahorro generado por la energía fotovoltaica sobrante, todo gracias al apartado del Real Decreto que permite que el propietario de la planta solar y el consumidor sean diferentes [5]. De la misma forma, el nuevo Real Decreto contempla el autoconsumo solar compartido mediante el cual, por ejemplo, un polígono industrial o una comunidad de vecinos pueden realizar una instalación colectiva beneficiándose así todos del ahorro obtenido.

Capítulo 2

PROPUESTA DEL SISTEMA HÍBRIDO AEROTÉRMICO- FOTOVOLTAICO ÓPTIMO

2.1 Tipologías usuales de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial

Una de las primeras cuestiones que se debe de abordar a la hora de dimensionar un sistema fotovoltaico óptimo para suministrar energía a una vivienda unifamiliar con un sistema de climatización de aerotermia será ¿Qué tipología de sistema se va a utilizar?

En este apartado se estudiarán los tres posibles tipos de sistemas fotovoltaicos que se suelen dar con mayor frecuencia en el ámbito doméstico. Realmente, la adición de generadores de energía complementarios (de gasoil, eólicos, de biomasa, etc.) puede dar lugar a multitud de otras tipologías, sin embargo, por no alargar el proyecto, se presentarán los arquetipos básicos más comunes en el sector residencial. Así pues, los tres tipos de sistemas fotovoltaicos más habituales presentes en viviendas unifamiliares son los sistemas aislados de la red, los sistemas conectados a la red y los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo.

2.1.1 Sistemas aislados de la red

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red tienen como característica principal que no están conectados a un suministro comercializado de red eléctrica. Generalmente, esto suele ocurrir en zonas rurales remotas donde la conexión a la red eléctrica no es posible o requiere de la construcción de una infraestructura muy costosa.

Este tipo de sistemas normalmente están constituidos por un sistema de generación fotovoltaico que produce la electricidad, un sistema de baterías que la almacena, un regulador de carga encargado de controlar la profundidad de carga y descarga de las baterías y un inversor cuyo objetivo es la conversión de la electricidad producida y almacenada en corriente continua a corriente alterna. Hay que tener en cuenta que, en estos sistemas, el único método de producción de energía es el generador fotovoltaico el cual depende de la irradiancia solar. Pueden existir situaciones a lo largo del año en las cuales la irradiancia no sea la suficiente para abastecer la vivienda, por este motivo, se suelen instalar generadores complementarios que funcionan con combustibles fósiles para así asegurar la producción eléctrica hasta en las épocas más críticas del año.

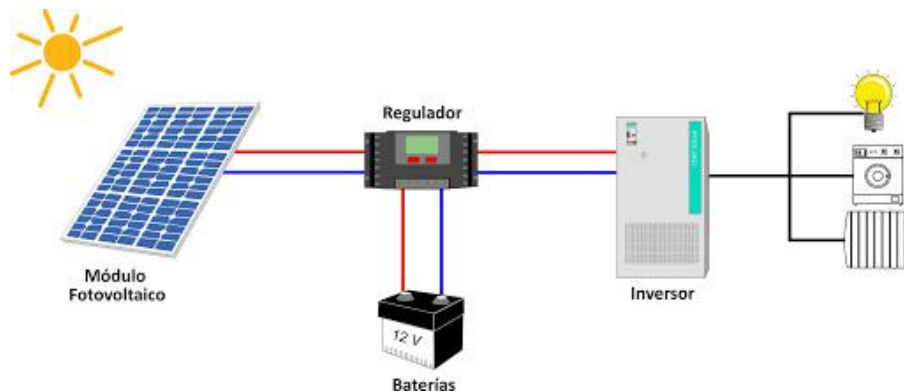


Figura 5: Esquema básico de un sistema fotovoltaico aislado de la red

Hay que tener en cuenta que, por condiciones climatológicas concretas como la niebla, es posible que los paneles fotovoltaicos no sean capaces de producir energía durante uno o varios días. Por este motivo, el apartado más importante del diseño de este tipo de instalaciones es el dimensionamiento del sistema de baterías, el cual tiene que ser capaz de suministrar energía eléctrica a la vivienda en los días en los que la producción fotovoltaica no sea suficiente. Para dimensionar este tipo de instalaciones se pueden utilizar, por ejemplo, los métodos del peor mes, el cual analiza las condiciones más desfavorables posibles, o el método de la probabilidad de fallo en el consumo, el cual trata de garantizar el consumo energético de la forma más fiable posible durante un varios años.

2.1.2 Sistemas conectados a la red

A diferencia del anterior arquetipo, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red están enchufados a un suministro legalizado de energía eléctrica por lo que los usuarios de este tipo de instalaciones no tienen la preocupación de quedarse sin electricidad en momentos de climatología difícil. Por este motivo, éstos junto a los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo son los sistemas más utilizados en el sector residencial en nuestro país.

Este tipo de sistemas están formados por un equipo de generación fotovoltaico encargado de producir la electricidad, un inversor que convierte la corriente continua producida en corriente alterna y un medidor que contabiliza la energía eléctrica absorbida de la red y vertida a ella. Esta última parte del sistema es variable y depende de la modalidad de autoconsumo que elija el usuario. Como ya se ha explicado en el apartado de autoconsumo, en el caso de que el cliente se acoja a una modalidad de autoconsumo sin excedentes, deberá instalar en esta parte del circuito un dispositivo antivertido que impida el flujo de energía desde el sistema generador a la red eléctrica. Por otro lado, en el caso de que se acoja a una modalidad de autoconsumo con excedentes, bastará con un medidor como el que se acaba de comentar.

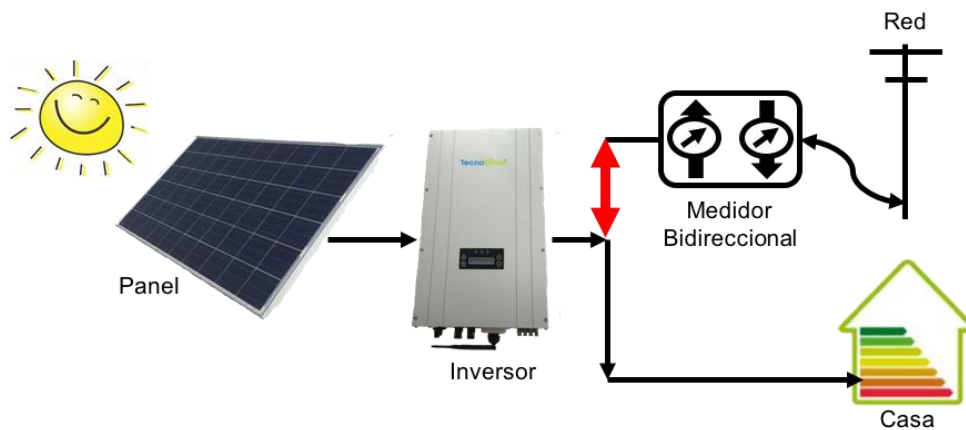


Figura 6: Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red

2.1.3 Sistemas conectados a la red con baterías de apoyo

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo se pueden considerar como unos sistemas híbridos intermedios entre ambas tipologías ya expuestas. Esencialmente, son sistemas conectados a un suministro eléctrico a los cuales se les añade una red de baterías para almacenar la energía producida por el generador fotovoltaico y posteriormente utilizarla cuando la demanda de la vivienda lo requiera.

En este tipo de sistemas están presentes todos los componentes que hemos visto en las otras dos tipologías; generadores fotovoltaicos, inversores, baterías, reguladores de carga y medidores bidireccionales.

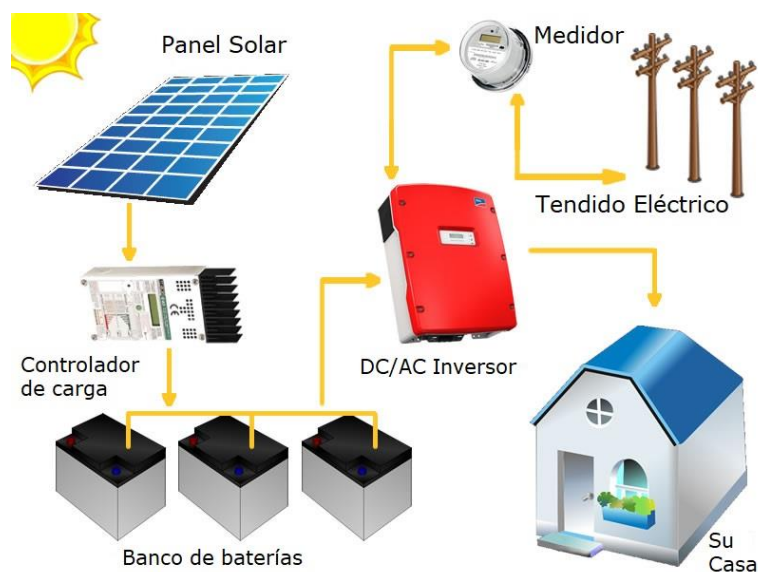


Figura 7: Esquema básico de un sistema conectado a la red con baterías de apoyo

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo actualmente son los más eficientes y los que más ahorro producen del mercado ya que son capaces de almacenar la energía que producen los generadores fotovoltaicos en horario solar para posteriormente utilizarla en momentos del día en los que éstos no sean capaz de generar la electricidad necesaria para cubrir la demanda doméstica. Además, al estar conectados a la red, se aseguran de que en temporadas climatológicas difíciles el suministro eléctrico no se corte. Esta tipología es la más interesante para un usuario que desee tener la factura eléctrica más baja posible ya que, con un correcto dimensionado del sistema de baterías, toda la demanda energética de la vivienda se puede satisfacer con la electricidad generada por los paneles solares. Sin embargo, a pesar de que el ahorro que producen es mayor, si los comparamos con los sistemas conectados a red sin baterías, la inversión necesaria para la puesta en marcha de la instalación será mucho mayor debido al alto coste de las baterías.

2.1.4 Comparación y conclusiones

Una vez expuestas las distintas tipologías de sistemas fotovoltaicos, queda razonar cual es la más apropiada para el caso que nos atañe, viviendas unifamiliares con climatización mediante sistema aerotérmico. Teniendo en cuenta que las zonas de estudio van a ser barrios residenciales de Zaragoza o pueblos relativamente grandes de la comunidad autónoma de Aragón, los sistemas aislados de la red se van a descartar ya que son más apropiados para áreas rurales remotas donde la conexión a la red eléctrica no es factible. Ahora bien, analizando las dos posibilidades restantes, se puede observar que cada una tiene sus ventajas e inconvenientes.

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo ofrecen un mayor autoconsumo debido a que la electricidad producida por los módulos fotovoltaicos se puede almacenar para su posterior uso evitando, en la medida de lo posible, la compra de energía eléctrica a la red. Este mayor porcentaje de energía autoconsumida refleja, además de un impacto medioambiental menor, una rentabilidad más alta conforme al paso de los años. Por otro lado, a pesar de la reducción en el autoconsumo eléctrico, la inversión necesaria para la instalación de un sistema conectado a la red sin baterías de apoyo es mucho menor, siendo equivalente en algún caso a la mitad de la necesaria para la instalación de un sistema con baterías. Para resolver esta encrucijada, en el presente proyecto se propone un sistema híbrido fotovoltaico-aerotérmico que agrupe las ventajas más importantes de cada tipología; una inversión inicial reducida y un porcentaje de autoconsumo elevado.

2.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red con almacenamiento térmico

Mediante el diseño de esta tipología de sistema se busca alcanzar un objetivo ecológico y económico, autoconsumir la mayor cantidad de energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico y minimizar la inversión necesaria para la puesta en marcha de la instalación. Para ello, se emplea un concepto sobre el cual gira el funcionamiento del sistema: el uso del agua como sistema de almacenaje de energía.

A día de hoy, el método más rentable para gestionar los excedentes fotovoltaicos de un sistema de generación solar sin baterías es la compensación de energía, regulada por el Real Decreto 244/2019. Sin embargo, como ya se ha visto, actualmente el precio al que la ley permite la venta de los excedentes representa aproximadamente un cuarto del precio de compra. Viendo este dato, se entiende que no es lógico en términos de rentabilidad económica vender energía excedentaria a la red en nuestro país. Por este motivo, se propone un sistema capaz de aprovechar los excedentes fotovoltaicos en las horas de mayor irradiación solar mediante una calefacción/refrigeración modulante del agua de tres fuentes distintas e independientes: el depósito de ACS, el depósito de inercia del sistema aerotérmico y el suelo radiante.

En la siguiente figura se presenta un esquema simplificado de la instalación global, formada por un sistema de generación fotovoltaica, un inversor, un gestor de energía inteligente, una bomba de calor aerotérmica, un depósito de ACS, un depósito de inercia y un sistema de calefacción/refrigeración basado en suelo radiante y fan-coils.

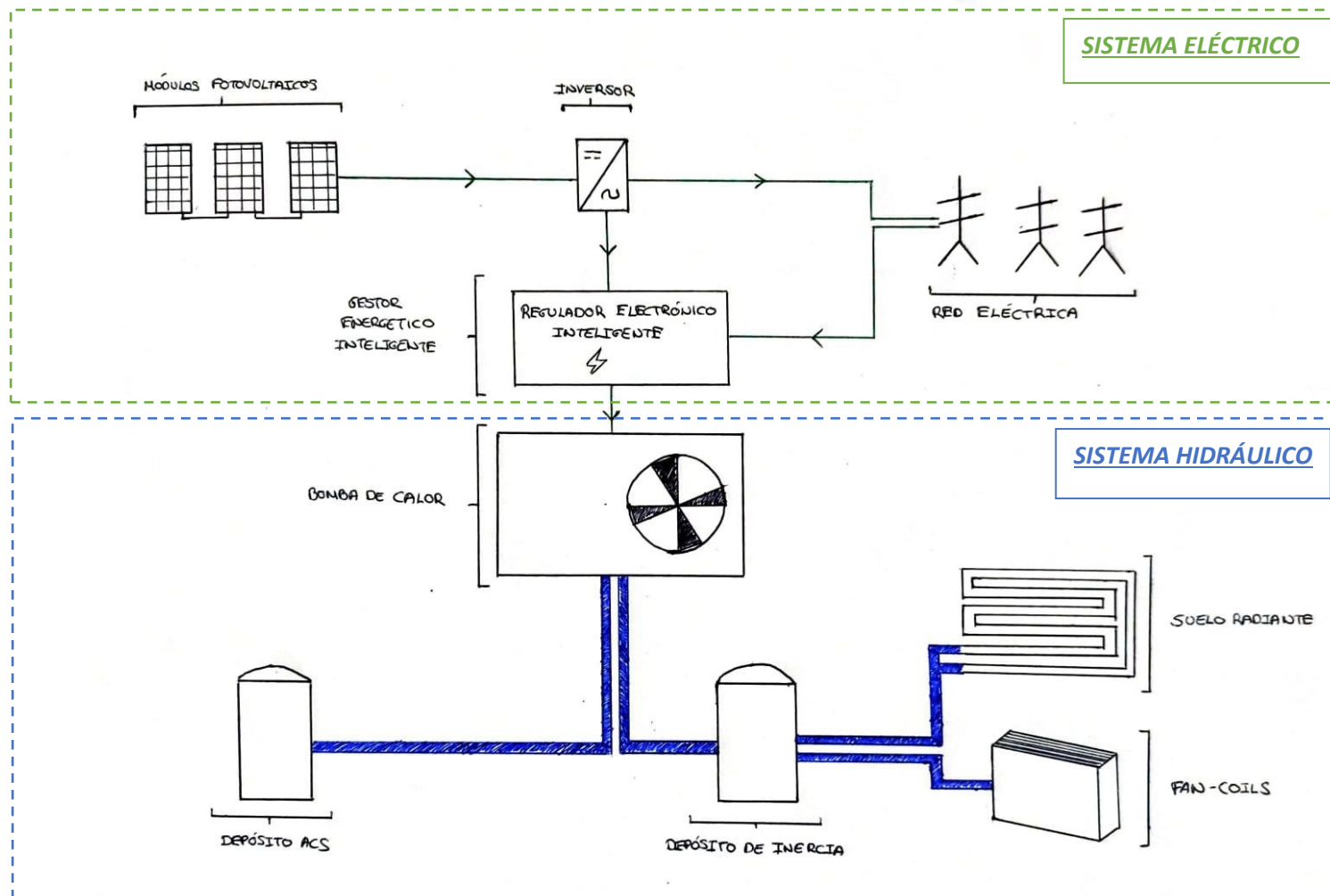


Figura 8: Esquema simplificado de la instalación global

En esencia, el esquema eléctrico del sistema propuesto es muy similar a un sistema conectado a red sin baterías de apoyo común. De la misma forma, el esquema hidráulico del sistema aerotérmico es idéntico a cualquier instalación de climatización basada en una bomba de calor. No obstante, la innovación viene dada por una propuesta de interacción y modulación entre ambos sistemas que permita un aumento de la eficiencia de la instalación global, así como el correspondiente ahorro económico. A continuación, se explicará con más detalle cada una de las partes de la instalación propuesta, el subsistema hidráulico y el subsistema eléctrico.

2.2.1 Subsistema hidráulico aerotérmico

El subsistema hidráulico de la tipología propuesta de sistema global se corresponde a una instalación hidráulica típica basada en la tecnología de bomba de calor. Los componentes principales del subsistema hidráulico son la bomba de calor aerotérmica, el depósito de ACS, el depósito de inercia y los elementos de distribución de calor (suelo radiante y fan-coils). También existen multitud de dispositivos presentes en este tipo de sistemas que no se van a tratar debido a su amplia variabilidad de aparición y a un menor interés académico en cuanto a innovación. Entre ellos se podrían destacar las tuberías encargadas del flujo de líquido (tanto agua como refrigerante), vasos de expansión, bombas hidráulicas, colectores, termostatos, válvulas, resistencias de apoyo, elementos de control hidráulico, etc. Así pues, se comentarán los elementos más importantes del subsistema hidráulico extrayendo en algunos casos información del anexo referido a la aerotermia cuya revisión previa será útil para entender conceptos teóricos que se aplicarán en el proyecto.

❖ Bomba de calor aerotérmica GENIA AIR

Como se explica en el “Anexo I” referente a la aerotermia, las bombas de calor son máquinas cuyo objetivo es, utilizando un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado, transferir calor entre dos focos a diferente nivel térmico, haciendo que dicho calor fluya de una temperatura más baja a más alta. Los sistemas aerotérmicos más comunes instalados en viviendas son, según su morfología, los sistemas compactos y los sistemas split. Los sistemas compactos están compuestos únicamente por una bomba de calor completa que se coloca en el exterior (de ahora en adelante unidad exterior) que proporciona a la vivienda agua caliente (no sanitaria) de forma directa por lo que, a priori, su coste de instalación es levemente inferior a la tecnología split. La diferencia de los sistemas split respecto a los compactos es que, en estos últimos, el kit hidráulico encargado de intercambiar el calor del fluido refrigerante con el circuito de agua de la vivienda no se encuentra en la unidad exterior, sino que se lleva al interior de la vivienda dando lugar a una unidad interior. Es importante entender que no existe un sistema mejor que otro, cada uno tiene sus ventajas y desventajas que dependen de las características del proyecto.

Como se comenta en el “Anexo I”, la principal marca proveedora de la empresa SUMICAR-PROPIBSA, entidad colaboradora de este proyecto, es SAUNIER DUVAL, marca líder en España en cuanto a calefacción y refrigeración. Por este motivo, la bomba de calor propuesta para el subsistema hidráulico presentado será la Genia Air, el buque insignia de SAUNIER DUVAL en cuanto a sistemas aerotérmicos. El sistema Genia Air es una tecnología aerotérmica capaz de generar calefacción, ACS y refrigeración disponible en dos configuraciones; compacta (sólo unidad exterior) o split (unidad exterior e interior).

La tecnología compacta se presenta en varias potencias: 5, 8, 11 y 15 kW en función de las cargas térmicas a satisfacer en la vivienda. Las siguientes figuras muestran un plano en perspectiva caballera de los distintos modelos de Genia Air y sus fichas técnicas correspondientes.

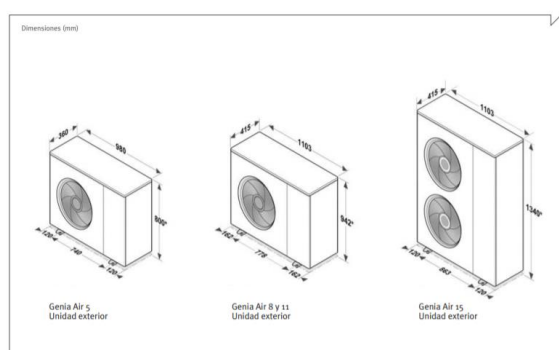


Figura 9: Plano en perspectiva caballera de los distintos modelos de Genia Air compacta [8]



Bomba de calor Genia Air

Genia Air	Ud.	5	8	11	15
Pack MiPro inalámbrico	Ref.	0010023078	0010023079	0010023080	0010023081
Pack MiPro cableado	Ref.	0010023074	0010023075	0010023076	0010023077
Eficiencia impulsión 35 °C		A++	A++	A+	A++
Eficiencia impulsión 55 °C		A+	A++	A+	A+
Alimentación		230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz
Límite de func. mín / max (en calefacción)	°C	-15 / 28	-20 / 28	-20 / 28	-20 / 28
Límite de func. mín / max (en refrigeración)	°C	10 / 46	10 / 46	10 / 46	10 / 46
Ida 35 °C, retorno 30 °C, temp. seca 7 °C					
Potencia de calefacción nominal / máx.	kW	4,4 / 7,2	7,7 / 9,5	10,6 / 11,3	14,6 / 16,6
COP nominal / carga parcial		4,7 / 5,1	4,6 / 4,8	4,3 / 4,5	4,5 / 4,5
Intensidad eléctrica nominal	A	4	7,72	12,04	14,8
Ida 18 °C, retorno 23 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia de refrigeración nominal / máx.	kW	4,4 / 6,2	7,6 / 8,1	10,5 / 11,1	13,7 / 14,9
EER nominal / carga parcial		3,4 / 5	3,6 / 4,3	3,4 / 5,6	3,2 / 4,1
Intensidad eléctrica nominal	A	6,1	10,61	15,69	19,1
Ida 7 °C, retorno 12 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia nominal de refrigeración	kW	3,60	5,50	7,90	10,80
Potencia alcanzable en régimen permanente	kW	-	-	8,30	12,00
Consumo eléctrico nominal	kW	1,30	1,90	2,82	4,50
EER nominal		2,40	2,90	2,80	2,50
EER alcanzable a carga parcial		3,50	3,00	4,20	3,00
Intensidad eléctrica nominal	A	5,90	8,60	13,38	19,60
Circuito frigorífico					
Refrigerante / carga	- / kg	R-410A / 1,8	R-410A / 1,95	R-410A / 3,53	R-410A / 4,4
Circuito hidráulico					
Presión mín./máx.	bar	1 / 3	1 / 3	1 / 3	1 / 3
Caudal de agua máx.	l/h	860	1.400	1.900	2.590
Volumen mínimo de agua	l	17	21	35	60
Presión disponible	mbar	640	450	300	370
Otras características técnicas					
Intensidad máxima absorbida	A	16	16	20	25
Temperatura máxima de ACS	°C	60	63	63	63
Máximo caudal de aire	m³/h	2.000	2.700	3.400	5.500
Presión acústica A7W35*	db(A)	44	46	51	51
Dimensiones (Alto/Ancho/Profundo)	mm	800 / 980 / 360	942 / 1103 / 415	942 / 1103 / 415	1340 / 1103 / 415
Peso neto	kg	86	102	126	165
Conexiones circuito hidráulico	Pulg.	1,25	1,25	1,25	1,25

(*) En campo llano a 2 metros

Figura 10: Ficha técnica de la bomba de calor Genia Air compacta [8]

❖ Depósito de ACS

La función principal de un depósito de ACS es mantener en un recipiente cerrado el agua caliente que destinamos al consumo (agua potable). Existen distintos tipos de depósitos con este fin según su material de fabricación; de acero inoxidable, vitrificados, etc. En una instalación de aerotermia, el dimensionado del volumen del depósito de ACS es muy importante ya que si se escoge uno excesivamente pequeño, se pueden provocar arranques demasiado frecuentes en la bomba de calor, lo cual no interesa por cuestiones de consumo y de vida útil de la bomba. En el caso de estudio de este proyecto, se utilizará el depósito de ACS, además de como tanque donde se guarda el agua sanitaria, como un almacén de energía térmica extra. Por este motivo, es recomendable sobredimensionar el depósito de ACS necesario para la vivienda con el objetivo de aumentar su capacidad de almacenaje térmico.

El total de la energía térmica extra que podremos almacenar en el depósito de ACS se podrá calcular mediante la ecuación de la energía necesaria para realizar un salto térmico en un fluido, en nuestro caso, de la temperatura de acumulación del ACS que se decida en el diseño, a la temperatura máxima de acumulación en condiciones de producción de excedentes fotovoltaicos.

$$Q = V * \rho * c_p * (T_{max} - T_{ac})$$

V es el valor del volumen del depósito de ACS

ρ es el valor de la densidad del agua, 1 [kg/L]

c_p es el valor del calor específico del agua, 4,18 [kJ/kg°C]

T_{max} es el valor de la temperatura máxima del ACS para condiciones de excedentes FV, 60 [°C]

T_{ac} es el valor de la temperatura de acumulación del ACS para condiciones normales, 40 [°C]

A diferencia de las instalaciones de climatización con caldera en las que la temperatura de acumulación ronda los 60 °C, en el caso de instalaciones aerotérmicas la temperatura de acumulación de ACS suele oscilar los 40 o 45 °C ya que la potencia térmica del sistema es menor. Este factor no es necesariamente negativo ya que la precipitación de las sales disueltas en el agua se suele ver favorecida con el aumento de la temperatura del agua, particularmente aumentando por encima de los 50 °C. Por este motivo, es importante tener en cuenta que el agua en la zona de estudio (Zaragoza) presenta unos niveles de cal elevados por lo que las temperaturas de acumulación proporcionadas por los sistemas de aerotermia son ideales para evitar procesos de calcificación. Así pues, se ha decidido que la temperatura de acumulación de agua sanitaria en condiciones normales de uso será de 40 °C y la temperatura máxima que alcanzará el depósito de ACS podrá ser de 60 °C en condiciones de producción de excedente fotovoltaico. El dato de volumen del depósito será variable y dependerá de las características de la vivienda, del espacio disponible, de la potencia de la bomba y del número de ocupantes. Como es lógico, a mayor volumen de depósito, la capacidad térmica de almacenaje será mayor por lo que se obtendrá una eficiencia más elevada.

❖ Depósito de inercia

La función principal del depósito de inercia es acumular agua caliente o fría (ojo, no ACS) para dar suministro al circuito de calefacción o refrigeración en función del momento del año. El contar con un volumen substancial de agua a la temperatura de impulsión necesaria para la climatización de la vivienda permite que el flujo de trabajo de la instalación no se interrumpa frente a un momento de alta demanda térmica. Además, la presencia de un depósito de inercia en una instalación aerotérmica permite que el almacenamiento de una gran cantidad de energía en el agua reduzca considerablemente las paradas y arranques del compresor de la bomba de calor, aumentando su vida útil y favoreciendo un menor consumo energético. Igual que en el caso del depósito de ACS, el sobredimensionamiento del depósito de inercia conllevará una mayor capacidad de almacenaje de energía térmica en su interior por lo que será deseable durante el proceso de diseño de la instalación.

De forma idéntica al caso anterior, la energía térmica extra acumulable gracias a la producción de excedentes fotovoltaicos será calculable gracias a la ecuación de la energía necesaria para llevar a cabo un salto térmico en un fluido. En este caso, la temperatura de trabajo en condiciones normales coincidirá con la temperatura de impulsión del agua en el suelo radiante. Por ejemplo, en el régimen de trabajo de calefacción, la temperatura nominal de impulsión de agua será de 35 a 40 °C por lo que la temperatura de acumulación del depósito de inercia será la misma. Por otro lado, la temperatura máxima alcanzable en condiciones de producción de excedente fotovoltaico se fijará en 80 °C. No obstante, elevar la temperatura de trabajo del depósito de inercia requerirá la instalación de un dispositivo de mezcla (válvula mezcladora) que se encargará de mezclar parte del agua del depósito de inercia con el agua de retorno del circuito radiante hasta alcanzar la temperatura de impulsión especificada por los manuales que, como hemos dicho, se encuentra entre los 35 y 40 °C en el caso de calefacción.

$$Q = V * \rho * c_p * (T_{max} - T_{ac})$$

V es el valor del volumen del depósito de inercia

ρ es el valor de la densidad del agua, 1 [kg/L]

c_p es el valor del calor específico del agua, 4,18 [kJ/kg°C]

T_{max} es el valor de la temperatura máxima del depósito de inercia para condiciones de excedentes FV, 80 [°C]

T_{ac} es el valor de la temperatura de acumulación del depósito de inercia para condiciones normales, 35-40 [°C]

De la misma forma que en la situación referente al depósito de ACS, conforme se eleve la capacidad volumétrica del depósito de inercia también aumentará la cantidad de energía térmica almacenable en el mismo, mejorando así la eficiencia de la instalación y la inercia térmica de la vivienda.

❖ Elementos de distribución de calor – Suelo radiante

Los elementos de distribución de calor de una instalación aerotérmica cumplen la función de distribuir el calor generado en la bomba aerotérmica y almacenado en el agua del sistema hidráulico (en el caso de calefacción). Los dispositivos más utilizados en el ámbito de la vivienda unifamiliar son los radiadores de baja temperatura, los fan-coils y el suelo radiante. Este último es el elemento de distribución de calor más novedoso e innovador y, además, igual que en el caso de los acumuladores (ACS e inercia), podrá actuar como batería térmica almacenando energía producida debido a los excedentes fotovoltaicos mediante un salto térmico en su flujo de agua interior por lo que se hará especial hincapié en su presentación.



Figura 11: Radiador de baja temperatura



Figura 12: Fan-coil



Figura 13: Suelo radiante

El suelo radiante es un equipo el cual consiste en una red de tubería plástica que, instalada bajo el pavimento y una capa de mortero, hace circular agua caliente o fría por toda la superficie, lo que provoca que el calor o el frío se irradie desde el suelo hacia el interior de la vivienda. En el caso de la calefacción, esto hace que la temperatura del aire a la altura de los pies sea algo superior a la temperatura del aire a la altura de la cabeza, mejorando la sensación de confort. En la Figura 14 podemos observar las distintas distribuciones de temperatura para varios sistemas de calefacción siendo el suelo radiante el equipo que proporciona una distribución de temperatura más homogénea.

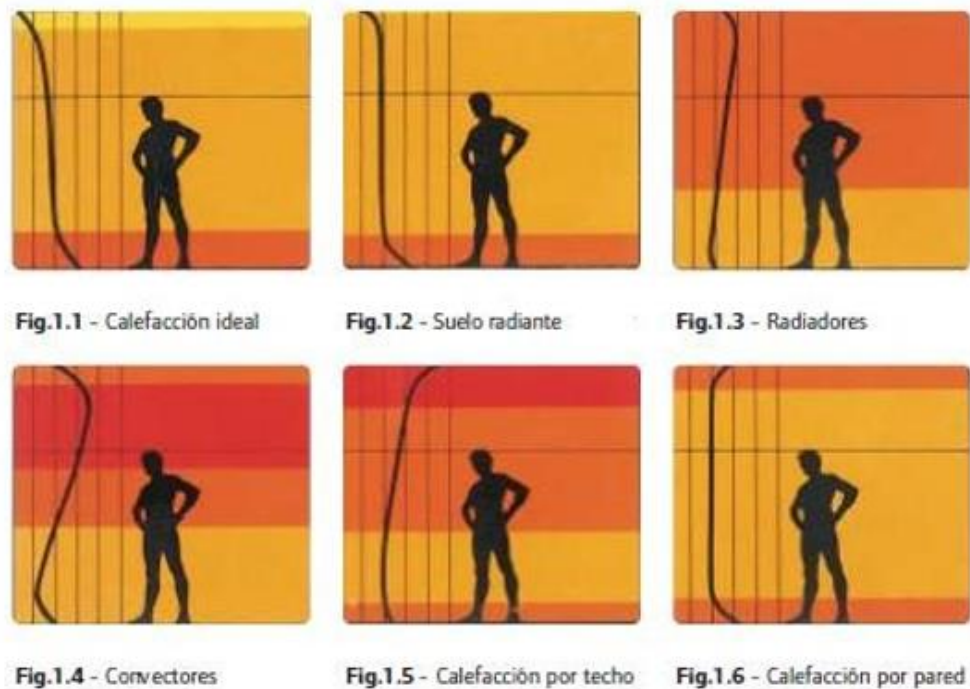


Figura 14: Distribución de temperatura interior según varios sistemas de calefacción

En cuanto al aspecto termodinámico del sistema, una instalación de suelo radiante agrupa todas las formas de transmisión de calor: conducción, radiación y convección. Por ejemplo, en el caso de funcionamiento de calefacción, el proceso de transmisión de calor comenzará por una convección entre el fluido caliente y el tubo que lo contiene, posteriormente existirá una conducción desde el tubo hasta el revestimiento superficial del suelo atravesando la capa de mortero de cemento y finalmente se ocasionará una convección y radiación desde la superficie del suelo hacia el ambiente interior de la vivienda.

Por último, también hay que remarcar que la producción de excedentes fotovoltaicos se podrá usar para elevar o disminuir de forma sutil la temperatura de impulsión en el circuito radiante para dotar al ambiente de una mayor inercia térmica y un mayor confort. Estas subidas o bajadas deberán ser no muy pronunciadas debido a que existe una temperatura límite de impulsión, para la cual se produce condensación en el suelo, que no se podrá superar (T^a de rocío), sobre todo en el caso de refrigeración.

2.2.2 Subsistema eléctrico fotovoltaico – HelioPV

Centrándonos ahora en el esquema eléctrico de la instalación, esta no diferirá mucho de un sistema fotovoltaico común conectado a la red. La principal diferencia será la aparición de un elemento extra que deberá coordinar la interacción entre el sistema fotovoltaico y la bomba de calor para que en el momento en el cual se produzcan excedentes fotovoltaicos, el sistema hidráulico cambie de régimen de trabajo. Esta modulación será la base del sistema propuesto en el proyecto y se llevará a cabo mediante un dispositivo de gestión de energía inteligente que se presentará en este apartado.

Como ya se ha comentado en la sección referida a la propuesta de la bomba de calor, la principal marca con la que trabaja la empresa SUMICAR-PROIBSA, entidad colaboradora en este proyecto, es SAUNIER DUVAL. La tecnología aerotérmica planteada en el trabajo pertenece a este fabricante por numerosos motivos, entre ellos está el que es la empresa líder en el sector aerotérmico español y que actualmente los rendimientos más altos (SCOPs y SEERs) del mercado corresponden a sus bombas de calor.

En el caso de la fotovoltaica, disponen de una gama de packs de sistemas fotovoltaicos que incluyen todos los elementos fundamentales para su puesta en marcha: módulos, cables, inversor y elementos de fijación. Estos packs, denominados HelioPV, están disponibles en formatos de distintas potencias cuya diferencia principal es el número de paneles solares incluidos y el modelo de inversor. Para la empresa distribuidora en la que se realiza el proyecto, la venta de todos los componentes de un sistema en un mismo pack es muy cómoda ya que ofrece un mantenimiento realizado por un mismo fabricante para todos los dispositivos del sistema. Además, para el instalador, el montaje del sistema es mucho más sencillo que en el caso de mezclar componentes de distintos fabricantes debido a que las instrucciones de instalación de cada parte del sistema están unificadas en un mismo manual. Como se puede ver, existen numerosos motivos por los cuales la gama HelioPV es una excelente opción en cuanto a instalación fotovoltaica, sin embargo, en el caso referente a este proyecto, el principal motivo por el cual se ha elegido este modelo y fabricante es otro muy distinto.

En la sección de fotovoltaica del catálogo comercial del año 2020 de SAUNIER-DUVAL, junto a las distintas gamas de packs HelioPV ya comentadas, también se ofertan algunos accesorios electrónicos que complementan sus sistemas fotovoltaicos propuestos. Precisamente uno de estos accesorios cumple la función en la que se basa el sistema fotovoltaico-hidráulico propuesto en este apartado, el gestor de energía PV-Ready. Este dispositivo se conectará entre el inversor y la bomba de calor y actuará como elemento de comunicación entre ambos equipos.

En la siguiente página se presenta el esquema eléctrico del pack fotovoltaico HelioPV de 4 kW de potencia pico generada. En él se distinguirán los diferentes equipos que lo componen y, a continuación, se comentará cada uno de ellos haciendo especial ahínco en el gestor de energía PV-Ready, dispositivo base y pilar fundamental de este proyecto académico. También se adjunta a continuación la oferta comercial de la gama HelioPV disponible en el catálogo comercial de SAUNIER DUVAL 2020 remarcando con un círculo el dispositivo PV-Ready.

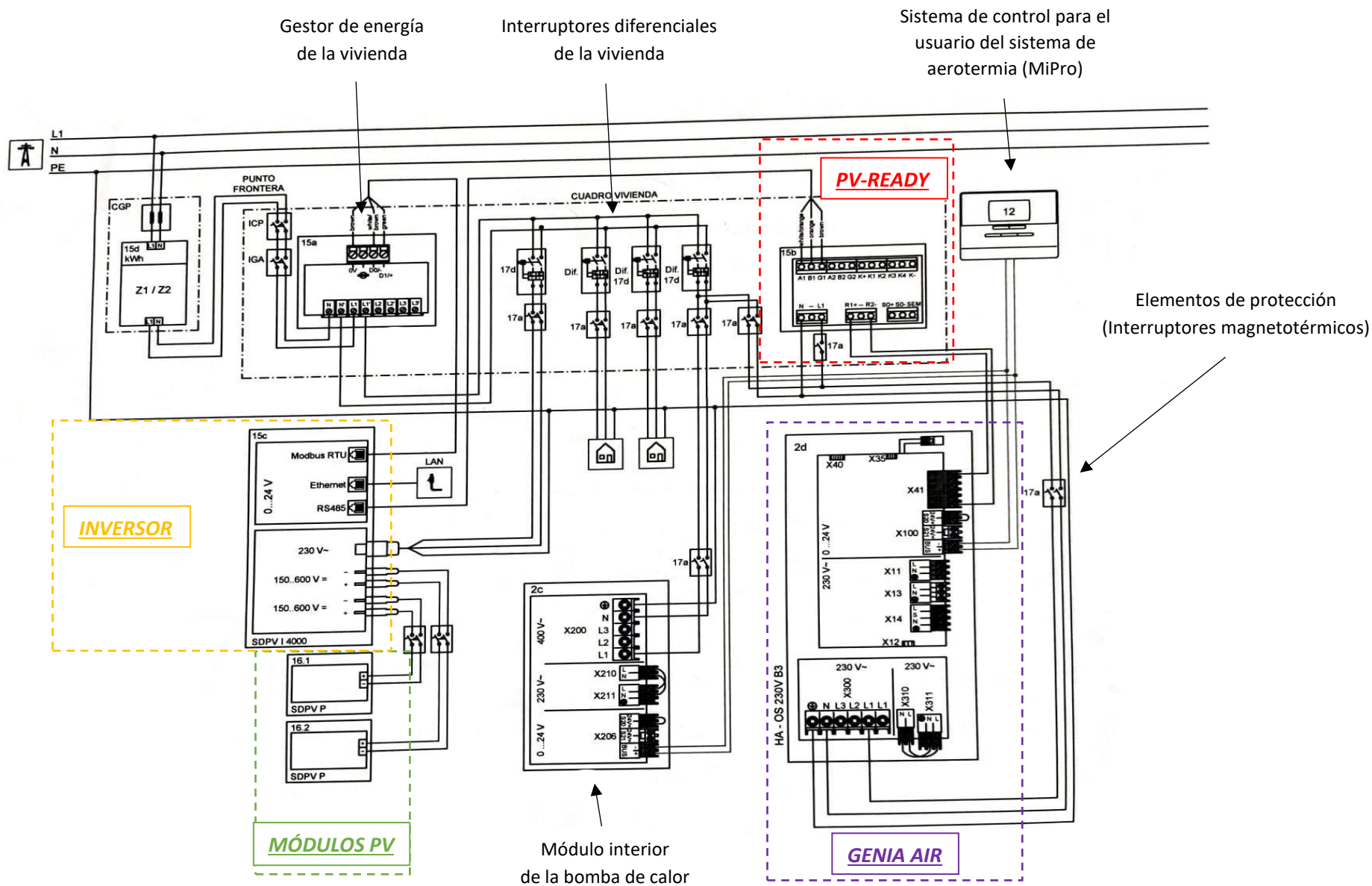



Figura 15: Esquema eléctrico del pack fotovoltaico HelioPV de 4 kW

Autoconsumo fotovoltaico Superconfort

Acceso gratuito al portal de monitorización Saunier Duval 

	Kit Superconfort HelioPV 1.5		Kit Superconfort HelioPV 2.0		Kit Superconfort HelioPV 2.5		Kit Superconfort HelioPV 3.0		Kit Superconfort HelioPV 4.0	
Paneles monocristalinos 305/310* Wp · Máxima eficiencia · Marco aluminio en negro	5 unidades		7 unidades		8 unidades		10 unidades		12 unidades	
Inversor monofásico 230V-50Hz	SDPV 1500/2		SDPV 2000/2		SDPV 2500/2		SDPV 3000/2		SDPV 4000/2	
Cable CC 100 m, 6 mm ² con conectores MC4	Sí		Sí		Sí		Sí		Sí	
Elementos de fijación en color negro	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***
Referencia	0010024979	0010024980	0010024981	0010024982	0010024983	0010024984	0010024985	0010024986	0010024987	0010024988

Autoconsumo fotovoltaico Confort

Acceso gratuito al portal de monitorización Saunier Duval 

	Kit Confort HelioPV 1.5		Kit Confort HelioPV 2.0		Kit Confort HelioPV 2.5		Kit Confort HelioPV 3.0		Kit Confort HelioPV 4.0	
Paneles monocristalinos 290/300* Wp · Máxima eficiencia · Marco aluminio	5 unidades		7 unidades		8 unidades		10 unidades		12 unidades	
Inversor monofásico 230V-50Hz	SDPV 1500/2		SDPV 2000/2		SDPV 2500/2		SDPV 3000/2		SDPV 4000/2	
Cable CC 100 m, 6 mm ² con conectores MC4	Sí		Sí		Sí		Sí		Sí	
Elementos de fijación en color aluminio	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***	Tejado inclinado**	Tejado plano***
Referencia	0010024989	0010024990	0010024991	0010024992	0010024993	0010024994	0010024995	0010024996	0010024997	0010024998

(*) Disponible a partir de agotar las existencias de SDPV P 290/2 M SWF y SDPV P 305/2 M BWf.

(**) Kits para instalación de los módulos en posición vertical. Para instalación en posición horizontal consultar accesorios en la tarifa vigente.

(***) Kits para instalación de los módulos en posición horizontal a 35° de inclinación. Para instalación en posición vertical y otros ángulos consultar accesorios en la tarifa vigente.

Accesorios



Gestor de energía para inyección y monitorización
0020252794



Gestor de energía PV-ready
0010024948

Figura 16: Oferta comercial del pack HelioPV en el catálogo de SAUNIER-DUVAL 2020

❖ Módulos fotovoltaicos

El componente principal de un sistema de generación fotovoltaico es el módulo fotovoltaico, el cual se puede definir como “Conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la irradiación solar que incide sobre ellos” [9]. A su vez, también se puede definir el concepto de célula fotovoltaica como “Dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica” [9]. En el “Anexo III” referente al marco teórico de la fotovoltaica se explica el funcionamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico más al detalle, sin embargo, en este apartado nos centraremos de forma más superficial en sus características constructivas y sus posibilidades de conexión.

Como ya se explica en el “Anexo III”, las células fotovoltaicas están construidas a partir de una oblea de material semiconductor (generalmente silicio), de un espesor aproximado entre 100 y 500 micrómetros, en la cual se ha difundido boro sobre un lado (región p) y fósforo sobre otro lado (región n). En la cara superior, la dopada con fósforo, se coloca una rejilla metálica encargada de extraer la corriente dejando al descubierto la mayor cantidad de superficie posible para maximizar la captación de radiación solar. Por otro lado, a la cara inferior, dopada con boro, se le implanta un contacto metálico inferior también como método conductor de corriente. Finalmente, la célula se completa depositando una capa de material antirreflectante que facilita la absorción de fotones.

Los módulos fotovoltaicos se pueden categorizar en función del material de las células fotovoltaicas que lo componen. A su vez, las células se pueden dividir en células de primera, segunda y tercera generación. Mientras que las células de primera generación han sido las primeras en aparecer en el mercado y son las más extendidas en todo el mundo, las de segunda generación son una tecnología que ha surgido recientemente y que todavía está en proceso de desarrollo. Las células de tercera generación sólo son existentes a nivel de investigación y todavía no han llegado al sector comercial, sin embargo, tienen una proyección muy alta en términos de eficiencias. Como este proyecto busca una aplicación doméstica a partir de componentes comerciales, trataremos las células de primera generación, las cuales se dividen en células de silicio monocristalinas, policristalinas y de silicio amorfo. A modo de resumen, se podría decir que los módulos fotovoltaicos basados en células amorfas son los menos eficientes y más económicos. Por el contrario, los paneles solares basados en células monocristalinas son los que proporcionan un mayor rendimiento a un mayor coste.



Figura 17: Tipos de paneles fotovoltaicos según el material de sus células

En el caso de la instalación propuesta en el proyecto, el pack fotovoltaico HelioPV incluye un número variable de módulos en función de la potencia del pack. Estos módulos están basados en silicio monocristalino y ofrecen unas eficiencias de hasta el 18,9%. En la siguiente página se puede observar la ficha técnica y los planos correspondientes a dichos módulos fotovoltaicos.

Modelo	Ud.	SDPV P 300/3 M SWF	SDPV P 310/3 M BWF
Referencia		0010031120	0010031118
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS			
Potencia nominal (P_{MPP})	Wp	300	310
Tolerancia en potencia	W	4,99	4,99
Tensión en MPP (V_{MPP})	V	32,3	32,8
Corriente en MPP (I_{MPP})	A	9,30	9,51
Tensión en circuito abierto (V_{OC})	V	39,5	39,9
Corriente de cortocircuito (I_{SC})	A	9,81	10,02
Eficiencia de módulo solar	%	18,3	18,9
Temperatura NOCT	°C	44,5	44,5
COEFICIENTE DE TEMPERATURA			
Potencia (P_{NOM})	%/°C	-0,4	-0,4
Tensión (V_{OC})	%/°C	-0,29	-0,29
Corriente (I_{SC})	%/°C	0,05	0,05
Tensión máxima de sistema	V	1000	1000
Corriente máxima de retorno	A	20	20
ESPECIFICACIONES MECÁNICAS			
Dimensiones	mm	990 x 1.660 x 35	990 x 1.660 x 42
Peso	Kg	19	19
Máxima carga (presión)	Pa	5.400	8.000
Máxima carga (succión)	Pa	2.400	2.400
Material perfil	-	Aluminio	
Espesor del marco	mm	35	42
Células por módulo	-	60	
Tipo de células	-	Monocristalinas	
Conexiones	-	Caja de conexiones con 3 diodos bypass, cable de 4 mm ² y conectores MC4 Longitud del cable: 1.200 mm (+) y 800 mm (-)	

Figura 18: Ficha técnica de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

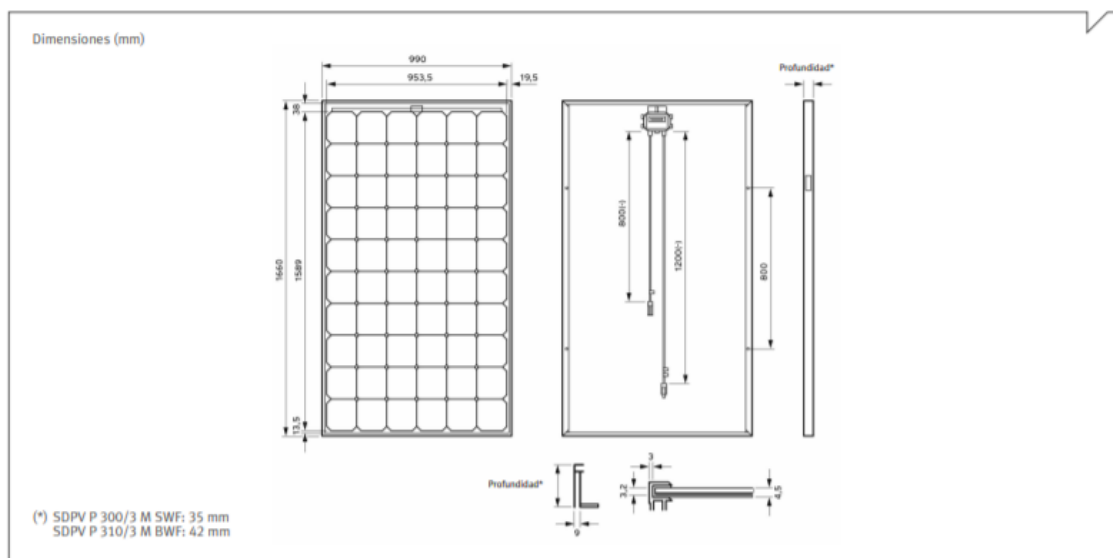


Figura 19: Plano de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

Una vez vistas las características constructivas de los módulos fotovoltaicos, se estudiarán las posibles conexiones a las que pueden ser dispuestos con el objetivo de formar un generador fotovoltaico eficiente. Al igual que en cualquier esquema eléctrico básico, estas conexiones pueden ser en serie o en paralelo:

- Conexión en serie: Mediante una conexión de los módulos fotovoltaicos en serie, las corrientes que circularán por todos los módulos serán idénticas, no obstante, las tensiones individuales se sumarán. A las cadenas de módulos fotovoltaicos conectados en serie se las llama “strings”.

$$U_{\text{gen}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

$$I_{\text{gen}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

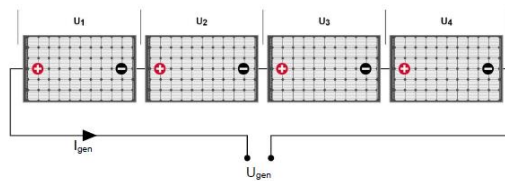


Figura 20: Esquema de conexión en serie de varios módulos fotovoltaicos

- Conexión en paralelo: Mediante una conexión de los módulos fotovoltaicos en paralelo, el resultado obtenido será análogo al de la conexión en serie. Las tensiones que circularán por todos los módulos serán idénticas, no obstante, las corrientes individuales se sumarán.

$$U_{\text{gen}} = U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

$$I_{\text{gen}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

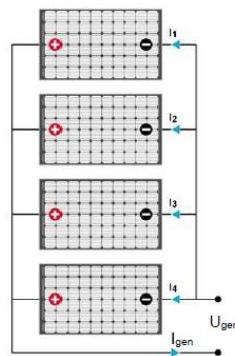


Figura 21: Esquema de conexión en paralelo de varios módulos fotovoltaicos

*En el caso del pack HelioPV, los módulos vendrán conectados en SERIE.

❖ Inversor

En una instalación fotovoltaica, el inversor es el dispositivo encargado de adaptar las características de la corriente generada en los módulos fotovoltaicos a la demanda eléctrica requerida por la vivienda. Su función principal será la de modificar el tipo de onda de trabajo en la instalación transformando así la corriente continua producida en los generadores a corriente alterna empleada por las cargas. Además de la conversión a corriente alterna, el inversor deberá conferir a la corriente una frecuencia y tensión adecuada para su uso en la vivienda (En España, 230 V y 50 Hz). Por otro lado, el inversor también optimizará la producción fotovoltaica de la instalación, permitiendo obtener el máximo rendimiento de cada módulo fotovoltaico.

El inversor será el dispositivo que determinará la potencia nominal de la instalación fotovoltaica teniendo como base la potencia de generación de los módulos fotovoltaicos. Si la potencia del generador fotovoltaico es demasiado grande para el inversor, además de perderse energía debido a la función limitadora de corriente del inversor, el dispositivo se dañará acortando su vida útil al trabajar frecuentemente en un régimen de sobrecorriente. Por otro lado, tampoco se deberá sobredimensionar el inversor, ya que su rendimiento es máximo a partir de cierta potencia absorbida y disminuirá cuando la potencia a la entrada sea menor a la nominal para la cual está diseñado. En la Figura 22, la cual representa una curva de rendimiento de un inversor, se puede observar cómo disminuye la eficiencia conforme disminuye la potencia de entrada lo que corrobora que es importante evitar el sobredimensionamiento de un inversor para una instalación fotovoltaica.

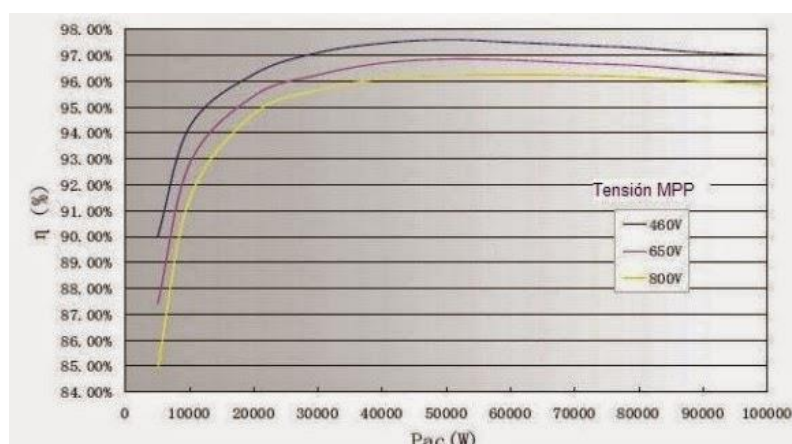


Figura 22: Curva de rendimiento de un inversor

Una decisión de diseño usada frecuentemente es usar una estimación del 80% para la potencia pico generada por los módulos fotovoltaicos ya que, las condiciones para conseguir dicha potencia (Condiciones STC) son demasiado optimistas respecto a las condiciones reales de funcionamiento. Es lógico que, dada la variabilidad de la energía radiante incidente, no es posible conseguir que el inversor trabaje siempre en condiciones óptimas por lo que se deberá realizar un dimensionado que evite tanto los problemas de sobrecorrientes y sobretensiones como los problemas de pérdidas de eficiencia por bajo punto de funcionamiento. En la siguiente página se muestra la ficha técnica y el plano de los inversores incluidos en los distintos packs fotovoltaicos HelioPV. Como se puede observar, los distintos modelos ofrecerán potencias desde 1,5 hasta 3,6 kW manteniendo eficiencias que rondan el 96%.

Modelo	Ud.	SDPV 1500/2 230V	SDPV 2000/2 230V	SDPV 2500/2 230V	SDPV 3000/2 230V	SDPV 4000/2 230V
Referencia		0010024762	0010024763	0010024764	0010024765	0010024766
ENTRADA DC						
Nº entradas (MPP tracker*)	-	1	1	1	1	2
Tensión de entrada	V	250	250	250	250	250
Tensión máx. entrada	V	450	450	450	750	750
Rango tensión funcion.	V	75 ... 360			125 ... 600	150 ... 600
Corriente nom. entrada	A	8				
Corriente máx. entrada	A	≤13				
SALIDA AC						
Potencia nom. salida	W	1.500	2.000	2.500	3.000	3.680
Potencia máx. aparente	VA	1.500	2.000	2.500	3.000	3.680
Tensión salida nominal	V	230				
Rango frecuencia salida	Hz	45 - 65				
Corriente nom. salida	A	7				
Corriente máx. salida	A	<12	<12	<14	<14	<16
EFICIENCIA						
Eficiencia máxima	%	97,4			97,0	
Eficiencia europea	%	96,1	96,5	96,6	96,3	
Eficiencia MPP	%	>99,0 dinámica; >99,7 estática				
Consumo Stand-by	W	<20				
SEGURIDAD						
Clase protección	-	IP65				
Temperatura ambiente	°C	-25 ... 60				
Humedad relativa	%	0 ... 95				
Altitud	m	≤2.000				
Emisión sonora	dB(A)	31				
Conexiones	-	Modbus RTU (1xRJ45) / Ethernet (1xRJ45) / RS485 bus (1xRJ45)				
ESP. MECÁNICAS						
Instalación	-	Sobre pared interna / externa, kit de montaje incluido				
Dim. (alt./ancho/prof.)	mm	657 / 399 / 222				
Peso	Kg	12,6			13,8	14,0

Figura 23: Ficha técnica de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

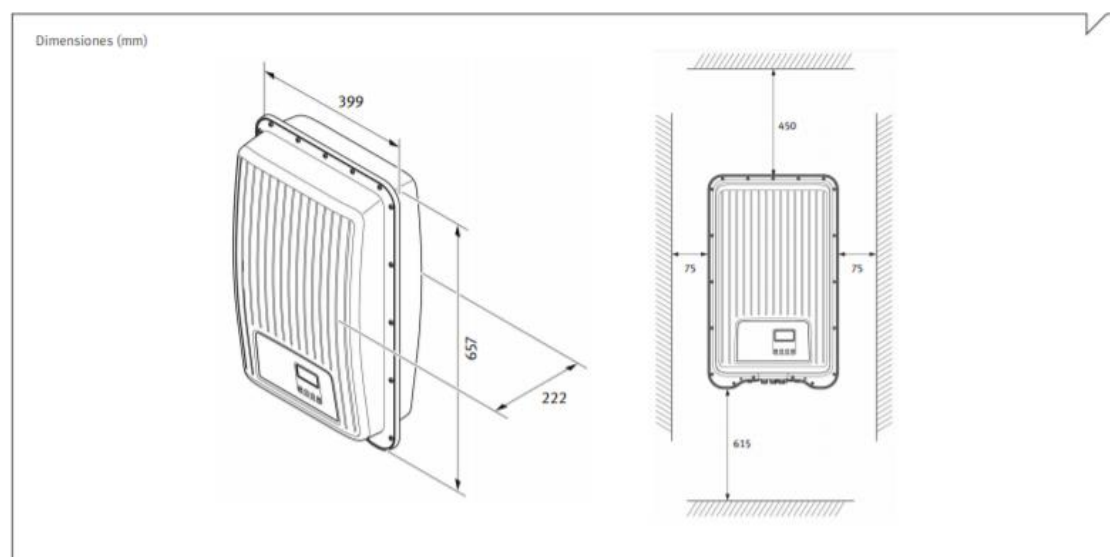


Figura 24: Plano de los modelos de módulos fotovoltaicos incluidos en el pack HelioPV

❖ Gestor de energía PV-Ready

El gestor de energía PV-Ready es el dispositivo encargado del control de la interacción entre el sistema fotovoltaico y la bomba de calor. Como se ha podido observar en el esquema eléctrico, se sitúa entre el inversor y la bomba de calor con el objetivo de actuar como intermediario entre ambos. Este dispositivo sigue un funcionamiento lógico programable que consiste básicamente en; primero analizar la producción de electricidad a partir de la energía entregada por el inversor para posteriormente gestionar el consumo de esa electricidad de un modo concreto marcado por su configuración.

En la propuesta de sistema fotovoltaico-aerotérmica de este proyecto, la idea es que el gestor PV-Ready analice la potencia de salida del inversor, la compare con una previamente marcada y, en el caso de que esta última sea superada, es decir, que el sistema esté produciendo una energía excedentaria, la derive a la bomba de calor o a las resistencias de apoyo de los depósitos de ACS e inercia. En la configuración de este gestor se deberán de establecer prioridades, es decir, cuando se produzcan excedentes fotovoltaicos, el gestor deberá disponer de diferentes opciones de consumo a las cuales se les asociarán diferentes niveles de prioridad. En función de su nivel de prioridad, el dispositivo ordenará un tipo de consumo concreto hasta satisfacer su demanda para posteriormente continuar con la siguiente tarea en su lista de prioridades. Para explicar su funcionamiento, se van a proponer diferentes tareas con sus respectivos niveles de prioridad para, por ejemplo, el modo invierno (calefacción):

Nivel de prioridad	Lugar de consumo	Tarea
Nivel 1	Depósito de ACS	Ciclo de carga de ACS mediante la bomba de calor. Si el depósito de ACS ya se encuentra a 45°C, calentamiento hasta alcanzar 60°C mediante la resistencia de apoyo incorporada.
Nivel 2	Depósito de inercia	Calentamiento del depósito de inercia hasta alcanzar 40°C. Si el depósito de inercia ya se encuentra a esa temperatura, calentamiento hasta 80°C mediante la resistencia de apoyo incorporada.
Nivel 3	Suelo radiante	Aumento de la temperatura de impulsión del suelo radiante de 2°C.

Tabla 1: Tareas y niveles de prioridad del gestor de energía PV-READY (Fuente propia)

Mediante esta serie de tareas, el dispositivo analizaría la potencia entregada por el inversor y, comparándola con la programada, establecería si se están produciendo excedentes fotovoltaicos. En caso de haberlos, comenzaría con la tarea de mayor prioridad, el calentamiento del depósito de ACS. Mediante un termostato en el acumulador, compararía la temperatura del ACS con la programada y en el caso de detectar que ya se ha llegado a la establecida, continuaría con la siguiente tarea en la lista de prioridades. El modo de trabajo continuaría de esta forma hasta completar todas las tareas, momento en el que los excedentes fotovoltaicos se verterían a la red a precio de compensación.

Capítulo 3

ANÁLISIS PREVIOS AL DIMENSIONADO

3.1 Elección de tarifa eléctrica y modalidad de autoconsumo

3.1.1 Tarifa regulada PVPC

La tipología de instalación propuesta por este proyecto para su uso en viviendas unifamiliares elimina por completo el uso del gas natural sustituyéndolo íntegramente por electricidad. De esta manera, un requisito vital para la obtención del máximo ahorro posible será la elección de una tarifa eléctrica lo más barata posible. Para ello, es necesario presentar qué es y cómo funciona el mercado regulado de electricidad en nuestro país.

En España, a la tarifa regulada por el Ministerio se le conoce como PVPC (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor). Su principal característica es que el precio de la electricidad marcado por esta regulación no es fijo, sino que cambia cada día y cada hora en función de lo que dicta el mercado mayorista de electricidad. Por este motivo, cada usuario, al gastar una cantidad de energía concreta en una hora determinada, tendrá una factura completamente personalizada lo que hará muy difícil establecer de antemano el presupuesto necesario para el gasto monetario en electricidad de una vivienda. También es importante destacar que se trata de una tarifa la cual solo puede ser contratada por usuarios con un término fijo de potencia inferior a 10 kW. La mayoría de viviendas unifamiliares tienen una potencia contratada inferior esta cifra, incluso con sistemas de aerotermia instalados, por lo que el mercado regulado será una opción viable para el sector residencial.

En contraparte, el mercado libre es el sector de venta energética en el cual las comercializadoras pueden determinar el precio de la electricidad según ellas determinen, en función de la oferta y la demanda. Este tipo de tarifas son las más comunes en el usuario medio ya que son las más ofertadas por las empresas comercializadoras eléctricas. El mercado libre ofrece tarifas con condiciones interesantes como, por ejemplo, un precio fijo durante el periodo de permanencia pactado, la posibilidad de combinar los suministros de gas y electricidad, descuentos o servicios adicionales, etc. A pesar de todas estas características, en términos generales, el precio final suele ser mayor que en el caso de contratar una tarifa en el mercado regulado.

Independientemente de si se escoge la contratación de una tarifa en el mercado libre o regulado, la condición obligatoria para viviendas unifamiliares con producción fotovoltaica, si lo que se busca es el máximo ahorro, será la elección de una tarifa con discriminación horaria. Este tipo de tarifas dividen el día en dos franjas, la primera, llamada valle, constituirá un periodo en el cual el precio de compra de la energía será más barato, por otra parte, el periodo de punta será aquel en el que el precio de compra será más caro. Normalmente, el periodo de valle abarcará el horario de 22 a 12 y el periodo punta de 12 a 22. Como se puede ver, el periodo de punta comprende las horas de mayor demanda eléctrica en el ámbito residencial, sin embargo, hay que tener en cuenta que también coincide con el periodo de máxima producción del sistema generador fotovoltaico. Por este motivo, durante el periodo punta, el consumo de la vivienda se satisfará mediante la energía solar producida y será durante el periodo valle cuando se compre la electricidad a la red aprovechando que el precio es más bajo. La siguiente figura muestra la distribución del horario para los periodos de punta y valle en invierno y verano.

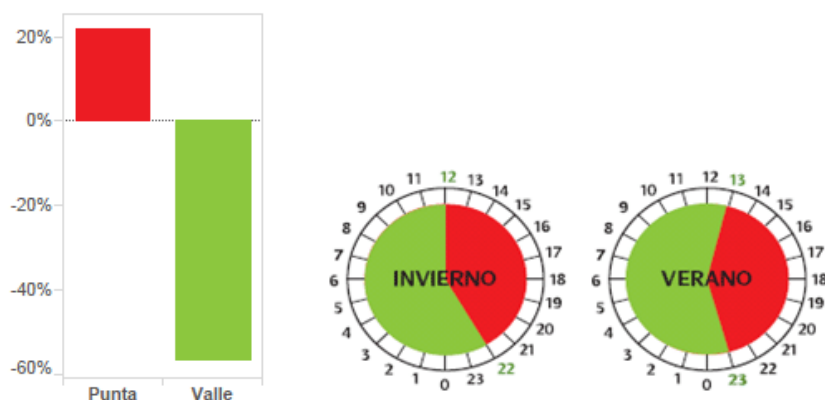


Figura 25: Distribución de horario para los periodos de punta y valle en invierno y verano

Se quiere insistir en que la elección de una tarifa de luz adecuada es un proceso de vital importancia en el ámbito de viviendas electrificadas. Dependiendo de la tarifa contratada se podrá maximizar o desperdiciar el ahorro proporcionado por la instalación de sistemas fotovoltaicos y aerotérmicos por lo que será imperativo hacer un análisis y una comparación de las tarifas ofertadas por distintas comercializadoras eléctricas. Con el objetivo de simbolizar esta importancia, se comparará el precio de la tarifa eléctrica que tiene el autor del proyecto con el precio ofrecido por la tarifa PVPC con discriminación horaria a día 5 de agosto de 2020. Para ello, se supondrá un consumo anual de 10.000 kWh siendo el 75% de esta cantidad consumido en periodo valle y el 25% en periodo punta.

❖ TARIFA A: IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.

Precio kW: 0,116 €/kW con un descuento del 15%

$$C_{anual} = 0,116 * 0,85 * 10.000 + TP = \mathbf{986 \text{ €} + TP}$$

❖ TARIFA B: PVPC con D.H.

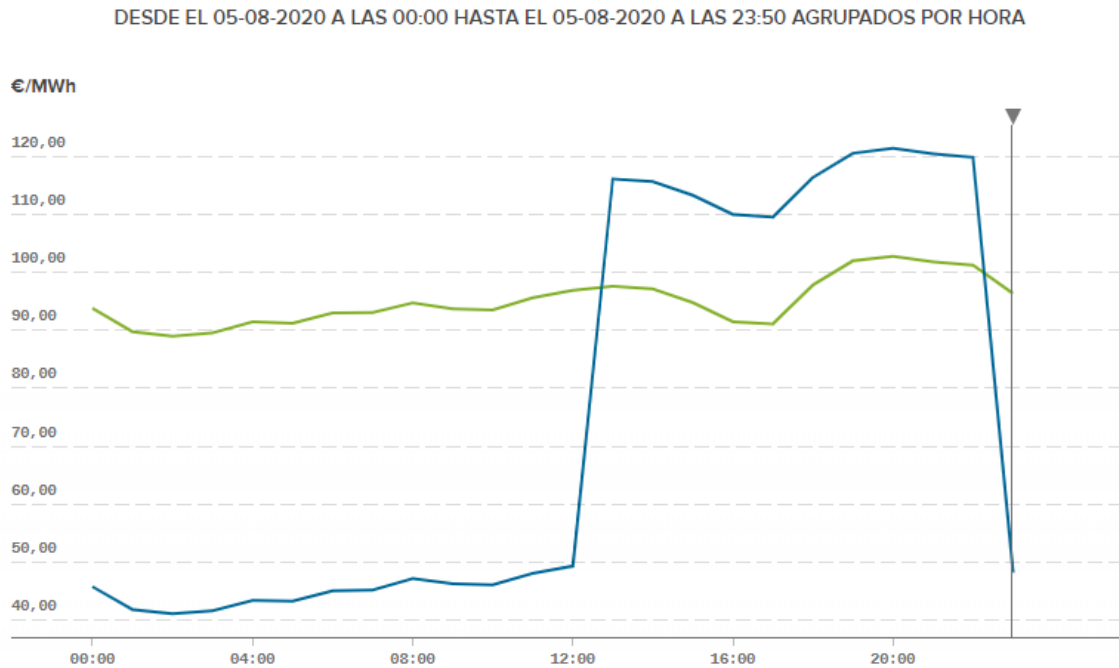


Figura 26: Evolución del precio del kW según el mercado regulado a día 5 de agosto de 2020

Precio medio kW en periodo valle: 0,04506 €/kWh

Precio medio kW en periodo punta: 0,11632 €/kWh

$$C_{anual} = 0,04506 * 10.000 * 0,75 + 0,11632 * 10.000 * 0,25 + TP = \mathbf{628,75 \text{ €} + TP}$$

En la práctica, para analizar el ahorro más al detalle, habría que tener en cuenta el término fijo de la factura (potencia contratada) y el precio de compensación del kW excedentario, sin embargo, sólo con el análisis del término variable ya se puede observar que el posible ahorro de la factura al migrar al mercado regulado podrá superar los 350 euros anuales.

3.1.2 Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada

A diferencia de la elección de la tarifa eléctrica, el proceso de selección de la modalidad de autoconsumo a la que acogerse será inmediato. En el caso de una vivienda unifamiliar, el usuario siempre deberá acogerse a la modalidad de autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada. En esta tipología de autoconsumo, los usuarios producirán su propia energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos la cual utilizarán para cubrir su demanda energética a lo largo del día. En los momentos puntuales en los que la producción solar supere a la demanda, esta diferencia de electricidad se verterá a la red conllevando una disminución en la factura eléctrica proporcional a la energía vertida. Como es lógico, normalmente, los momentos de exceso de producción coincidirán con las horas de mayor irradiación solar, generalmente a mediodía.

El precio de compensación del kW excedentario producido dependerá de la comercializadora eléctrica con la que el usuario decida trabajar. Actualmente el precio de los excedentes fotovoltaicos está rondando de los 4 a los 6 céntimos de euro por kW vertido a la red, sin embargo, esta cuantía depende de en qué tipo de mercado operemos y qué tipo de tarifa queramos implementar en nuestra vivienda. Ya que en el apartado anterior hemos decidido trabajar con el mercado regulado, analizaremos el precio del excedente fotovoltaico aplicado a una tarifa PVPC. La siguiente figura muestra la comparación del precio de compra de la energía según una tarifa de discriminación horaria frente al precio de compensación de la energía excedentaria fotovoltaica.

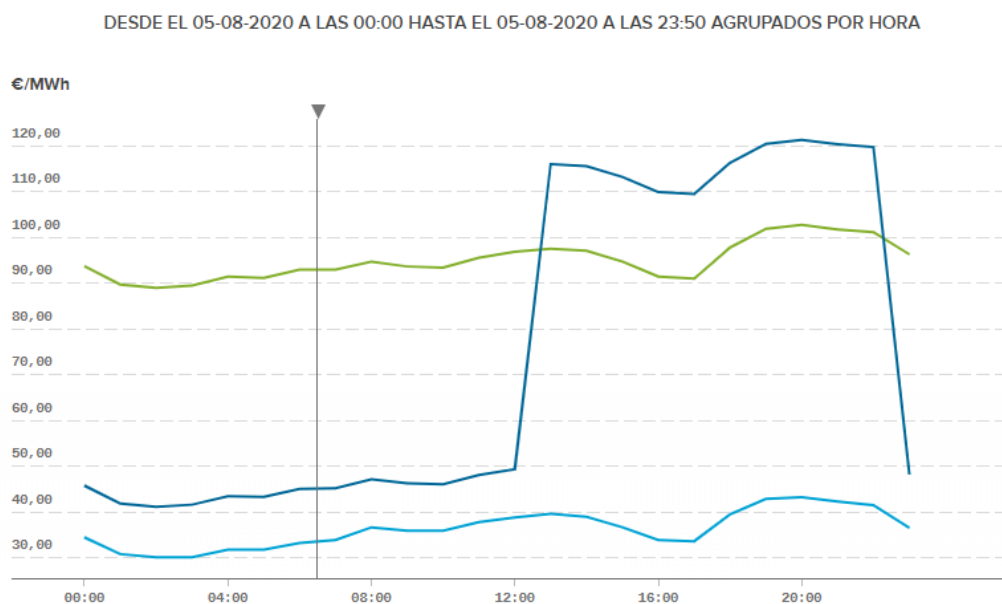


Figura 27: Precio de compra de la energía frente a precio de compensación de la energía excedentaria

Como se puede observar, el precio de venta de la energía excedentaria (0,03667 €/kW) es muy inferior al precio medio de compra (0,0956 €/kW) lo cual representa la poca rentabilidad de la compensación. Por este motivo, el sistema propuesto por el proyecto intentará evitar en la medida de lo posible el vertido a red de los excedentes fotovoltaicos aprovechándolos de forma alternativa mediante las funciones especificadas en el capítulo anterior.

3.2 Análisis de consumos eléctricos de viviendas unifamiliares con aerotermia

Previo al dimensionado del sistema fotovoltaico óptimo, se deberán estudiar los posibles consumos que puede tener una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia. El análisis del consumo es un apartado fundamental ya que servirá para establecer la potencia pico de la instalación fotovoltaica a implementar. Sin embargo, en el caso de estudio del proyecto, no se está estudiando una vivienda en concreto sino una tipología de viviendas que tienen unas características constructivas relativamente similares, (unifamiliares) y un sistema de climatización también similar (aerotermia). Hay que destacar que ambas variables serán similares, pero no iguales en diferentes casuísticas, es decir, dos viviendas unifamiliares a comparar, a pesar de ser las dos unifamiliares, podrán tener superficies muy distintas siendo la primera un adosado de 90 m² en el centro de Zaragoza y la segunda una finca de 300 m² en Utebo. De la misma manera, dos viviendas con sistema de aerotermia, a pesar de disponer de la misma tecnología, podrán utilizar equipos muy diferentes en cuanto a potencia consistiendo la instalación aerotérmica de la primera vivienda en una bomba de calor de 8 kW y la de la segunda en dos bombas de calor de 15 kW cada una. La parte positiva es que una variable está relacionada con la otra ya que, normalmente, a mayor superficie útil, mayor será la potencia térmica necesaria para climatizarla y, por ende, mayor será la potencia de la bomba de calor. Por este motivo, se podrá eliminar la variable de la superficie de la ecuación, simplificando el dimensionado y dejando la potencia pico del sistema en función de la potencia térmica nominal de la bomba de calor instalada en la vivienda.

A pesar de tener solo una variable en el apartado referente a los consumos, ésta podrá variar entre ciertos valores generando una incertidumbre que complicará el estudio. Esta variable, la potencia térmica nominal de la bomba, deberá ser acotada entre dos límites, superior e inferior, que localicen las potencias térmicas más comunes en el ámbito residencial unifamiliar en la zona de Zaragoza y alrededores. Para ello, analizando el catálogo comercial de SAUNIER-DUVAL, se podrá observar que las bombas de calor ofertadas son las GENIA AIR y sus potencias térmicas nominales son 5, 8, 11 y 15 kW. Así pues, el objetivo marcado de este apartado será desarrollar unos consumos eléctricos anuales adecuados para viviendas unifamiliares que dispongan de aerotermia con las potencias ya mencionadas. Para ello, se dividirá el consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia en tres distintos para luego sumarlos y obtener el total: el consumo eléctrico doméstico, el consumo eléctrico de la bomba de calor para ACS y el consumo eléctrico de la bomba de calor para climatización.

3.2.1 Consumo eléctrico doméstico

En un principio, parece acertado estimar que el consumo eléctrico doméstico a lo largo del año será similar en viviendas con diferentes potencias térmicas de climatización. Es cierto que realmente esto no será así; una mayor potencia calorífica de la bomba de una vivienda indicará una mayor superficie y una mayor superficie indicará probablemente una mayor iluminación junto a un mayor consumo doméstico. Sin embargo, la variación del consumo doméstico se estima que no será tan significativa como para realizar varias casuísticas en función de la potencia de la bomba. Así pues, el objetivo será calcular un consumo anual estándar de una vivienda unifamiliar que incluya únicamente la demanda eléctrica doméstica del domicilio. Para ello, la vivienda a estudiar deberá disponer de calefacción por gas o gasoil para no interferir en el consumo eléctrico global.

Para evitar problemas de privacidad, las facturas eléctricas que se han analizado pertenecen a la vivienda del tutor de este proyecto académico y de su familia. Este domicilio se puede considerar como una vivienda unifamiliar adosada, se encuentra en el barrio de Montecanal, está habitado por 3 personas y dispone de 200 m² divididos en 3 plantas. Las facturas han sido emitidas por el contador inteligente localizado en la entrada de la vivienda y consisten en una hoja de cálculo donde se encuentra el consumo energético en Wh del domicilio por cada hora, desde el día 26 de junio del 2019 hasta el 22 de junio del 2020. Para dar una idea de lo que se va a analizar, la siguiente figura muestra parte de la hoja de cálculo correspondiente a abril de 2020.

6					
7	Fecha	Hora	Consumo	Precio	Coste po
8	2020-04-2	00:00-01:00	332	0	0
9	2020-04-2	01:00-02:00	266	0	0
10	2020-04-2	02:00-03:00	231	0	0
11	2020-04-2	03:00-04:00	216	0	0
12	2020-04-2	04:00-05:00	210	0	0
13	2020-04-2	05:00-06:00	213	0	0
14	2020-04-2	06:00-07:00	247	0	0
15	2020-04-2	07:00-08:00	321	0	0
16	2020-04-2	08:00-09:00	387	0	0
17	2020-04-2	09:00-10:00	430	0	0
18	2020-04-2	10:00-11:00	466	0	0
19	2020-04-2	11:00-12:00	473	0	0
20	2020-04-2	12:00-13:00	485	0	0
21	2020-04-2	13:00-14:00	510	0	0
22	2020-04-2	14:00-15:00	500	0	0

Tabla 2: Factura de la vivienda a estudiar (Propietario: Tutor del proyecto académico)

En resumidas cuentas, el análisis consistirá simplemente en realizar un sumatorio de la energía consumida cada mes para luego reflejarla en una tabla y en una gráfica que muestre la evolución anual.

Mes	Energía eléctrica consumida (kWh)
Enero	311,716
Febrero	274,92
Marzo	298,004
Abril	277,937
Mayo	279,864
Junio	259,257
Julio	267,72
Agosto	254,87
Septiembre	283,489
Octubre	274,573
Noviembre	291,002
Diciembre	285,544
TOTAL	3358,896

Tabla 3: Consumo eléctrico doméstico mensual de la vivienda a estudiar (Propietario: Tutor del proyecto académico)

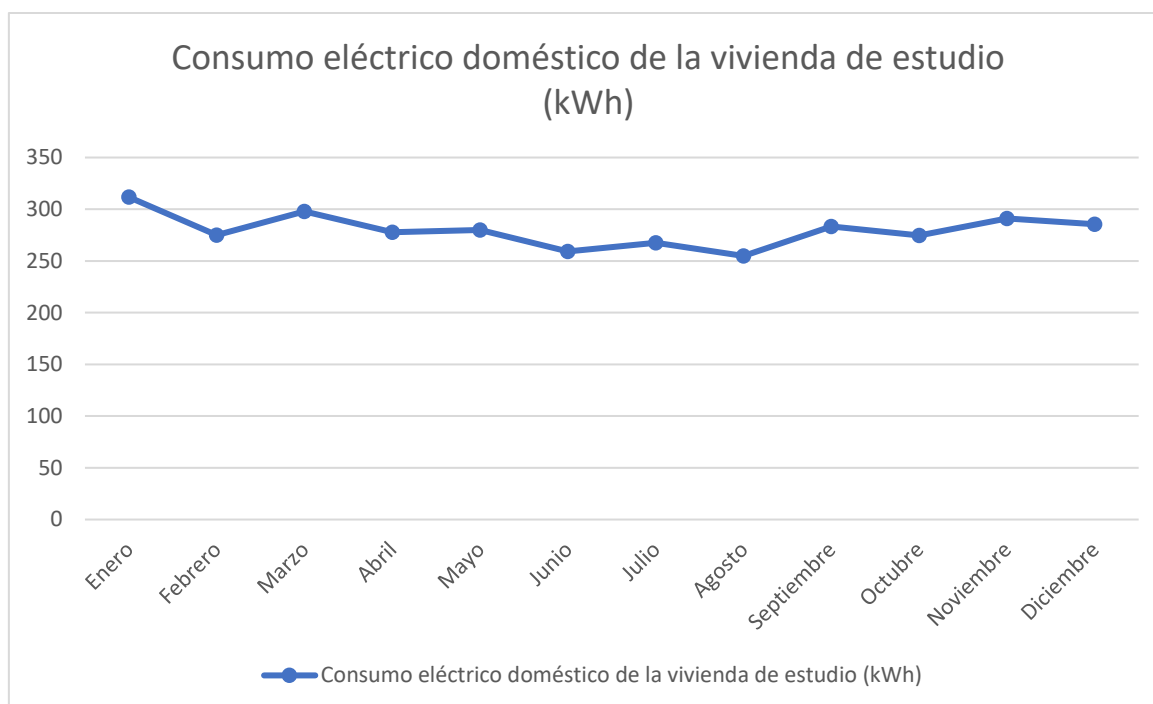


Figura 28: Gráfica que representa el consumo eléctrico doméstico de la vivienda analizada (Fuente propia)

En la figura 28 se puede observar la evolución del consumo únicamente doméstico (no con climatización ni ACS incluidos). Como muestra la gráfica, el desarrollo del consumo eléctrico se mantiene relativamente estable a lo largo del año. En los siguientes apartados, analizaremos los consumos de los diferentes sistemas de aerotermia propuestos.

3.2.2 Consumo eléctrico de la bomba de calor para ACS

Para obtener el consumo eléctrico mensual que tiene la bomba de calor solamente para producir ACS, deberemos de realizar una serie de cálculos que dependerán de la temperatura de red del agua. El CTE estipula que el consumo medio de ACS de una persona es de 28 litros/día teniendo en cuenta que el agua esté a 60°C. Sin embargo, si se recuerda el capítulo explicativo del sistema hidráulico, un sistema aerotérmico suele trabajar con temperaturas de ACS de unos 40°C por lo que será necesario calcular el consumo real a esta temperatura mediante una sencilla regla de tres inversa.

$$V = \frac{60 * 28}{40} = 42 \frac{l}{persona * dia}$$

Como muestra el resultado, el consumo recomendado de ACS será de 42 litros/persona*día teniendo en cuenta que la temperatura de acumulación del agua sea de 40°C. En la siguiente página, se establecerá una tabla que aglutine los siguientes datos: el número de días de cada mes, el consumo diario de ACS a 40°C para una familia de 4 miembros, el mismo consumo de ACS expresado ahora en formato mensual, la temperatura de acumulación del ACS y la temperatura de red del agua en función de los distintos meses del año.

MES	Días/Mes	Demanda diaria ACS (l/día)	Demanda mensual ACS (l/me)	Temperatura ACS (°C)	Temperatura red (°C)	ΔT (°C)	Consumo térmico (kJ)	Consumo térmico (kWh)	Consumo eléctrico GENIA AIR 5 (kWh)	Consumo eléctrico GENIA AIR 8 (kWh)	Consumo eléctrico GENIA AIR 11 (kWh)	Consumo eléctrico GENIA AIR 15 (kWh)
Enero	31	168	5208	40	8	32	696622.08	193.5061333	39.49104762	41.17151773	43.97866667	43.00136296
Febrero	28	168	4704	40	8	32	629207.04	174.7797333	35.66933333	37.1871773	39.72266667	38.83994074
Marzo	31	168	5208	40	10	30	653083.2	181.412	37.02285714	38.59829787	41.23	40.31377778
Abril	30	168	5040	40	12	28	589881.6	163.856	33.44	34.86297872	37.24	36.41244444
Mayo	31	168	5208	40	14	26	566005.44	157.2237333	32.08647619	33.45185816	35.73266667	34.93860741
Junio	30	168	5040	40	17	23	484545.6	134.596	27.46857143	28.63744681	30.59	29.91022222
Julio	31	168	5208	40	20	20	435388.8	120.9413333	24.68190476	25.73219858	27.48666667	26.87585185
Agosto	31	168	5208	40	19	21	457158.24	126.9884	25.916	27.01880851	28.861	28.21964444
Septiembre	30	168	5040	40	17	23	484545.6	134.596	27.46857143	28.63744681	30.59	29.91022222
Octubre	31	168	5208	40	13	27	587774.88	163.2708	33.32057143	34.73846809	37.107	36.2824
Noviembre	30	168	5040	40	10	30	632016	175.56	35.82857143	37.35319149	39.9	39.01333333
Diciembre	31	168	5208	40	8	32	696622.08	193.5061333	39.49104762	41.17151773	43.97866667	43.00136296

Tabla 4: Consumo eléctrico mensual de la bomba de calor para la producción de ACS en función del sistema de aerotermia

Una vez se han introducido los datos de demanda de ACS mensual y temperatura de red, se obtendrá la diferencia de temperaturas entre la de acumulación y la de red. Posteriormente se utilizará la ecuación que formula la energía necesaria para un salto térmico en un fluido:

$$Q = V * \rho * c_p * (T_{ac} - T_{red})$$

Una vez se ha obtenido el consumo térmico mensual en kJ se transformará a kWh, ya que es la unidad en la que se está trabajando, dividiendo entre 3600. Finalmente, el consumo térmico se habrá de dividir entre el COP de cada bomba de calor. Este dato lo podremos encontrar en el catálogo de SAUNIER DUVAL representado como un COP mínimo y uno máximo para ciertas condiciones de funcionamiento. Con el objetivo de ser lo más preciso posible, se calculará un COP medio para cada modelo de bomba para finalmente obtener el consumo eléctrico mensual de producción de ACS para cada modelo de bomba:

$$GENIA AIR 5: \frac{4,7+5,1}{2} = 4,9$$

$$GENIA AIR 8: \frac{4,6+4,8}{2} = 4,7$$

$$GENIA AIR 11: \frac{4,3+4,5}{2} = 4,4$$

$$GENIA AIR 15: \frac{4,5+4,5}{2} = 4,5$$

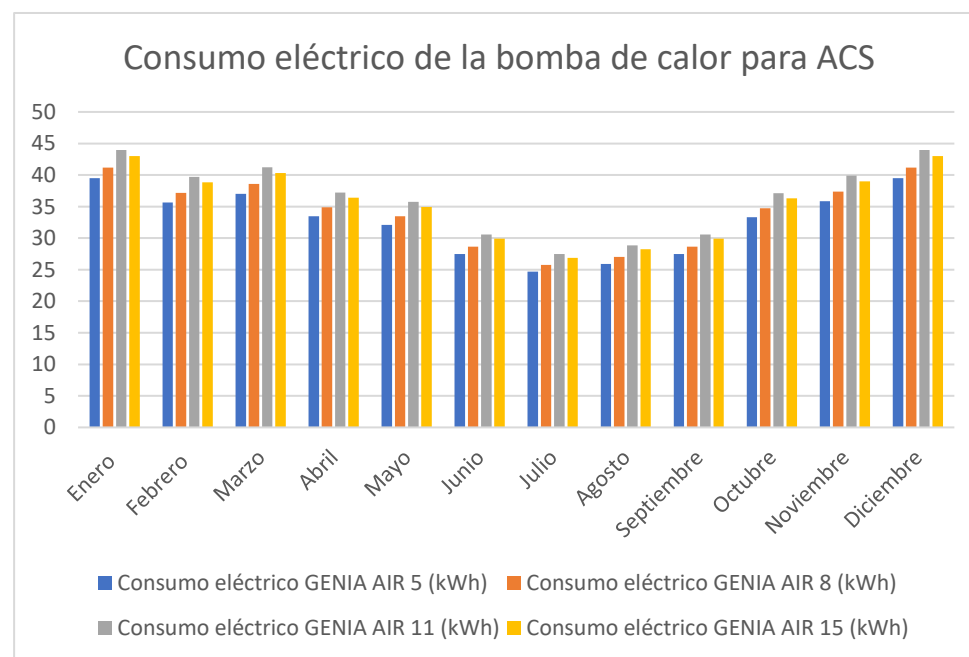


Figura 29: Evolución del consumo eléctrico de cada tipología de bomba de calor para ACS

3.2.3 Consumo eléctrico de la bomba de calor para climatización

Probablemente la mayor dificultad del proyecto se presenta en este apartado, ya que, el consumo eléctrico referido a climatización de una bomba de calor es un parámetro tremendamente variable a lo largo del día, mes y año. Es muy difícil realizar una estimación adecuada del consumo anual y mensual por lo que la única alternativa es monitorizar una instalación existente y revisar los datos obtenidos a lo largo de un año entero. En primera instancia, se ha intentado seguir este método, sin embargo, al no obtener la monitorización de los equipos necesarios por parte de la marca fabricante, se ha tenido que buscar otra forma de obtener los consumos eléctricos de las bombas de calor de la forma más precisa posible. Para ello se ha utilizado la calculadora de equipos de aerotermia de la página web de SAUNIER DUVAL. En dicha herramienta, es posible introducir los datos de una vivienda, en nuestro caso genérica, para así obtener unos consumos eléctricos medianamente realistas en función de la bomba de calor que estime la calculadora.

*Como apunte, se quiere destacar que se es consciente de que la forma más rápida de analizar el consumo eléctrico de una bomba de calor sería utilizar un consumo medio durante todo el año. Sin embargo, con el objetivo de obtener unos resultados lo más precisos posibles, se desea calcular un consumo exacto para cada modelo de bomba para cada mes del año.

En la siguiente figura se puede observar la interfaz de la calculadora de la página web de SAUNIER DUVAL [10]. En función de los datos de entrada que se introduzcan, el programa calculará la bomba óptima y una curva de su consumo eléctrico aproximado (sólo de climatización). De esta forma, haremos varios cálculos a partir de distintos datos de entrada con el objetivo de obtener los consumos eléctricos de todos los modelos de bombas de calor que oferta la marca.

The image shows a web-based calculator interface for SAUNIER DUVAL. It is organized into three main columns of input fields:

- Definición del sistema:** Includes dropdowns for 'Nuevo sistema' (set to 'Aerotermia') and 'Sistema actual o a comparar' (set to 'Gasoil').
- Datos de la vivienda:** Includes a dropdown for 'Provincia' (set to 'Zaragoza'), a dropdown for 'Tipo de vivienda' (set to 'Unifamiliar'), and a text input for 'm² útiles' (set to '150').
- Datos de la instalación:** Includes a dropdown for 'Tipo de instalación' (set to 'Suelo radiante') and a text input for 'Temperatura de confort en °C' (set to '22').

Below these columns is a section for 'Consumo energético' with a checkbox 'Conozco el consumo anual' (unchecked) and a dropdown for 'Tipo de aislamiento' (set to 'Muy Bueno (CTE 2013 aislamiento ...)').

At the bottom, there is a 'Borrar datos' button on the left and a red 'Calcular' button on the right.

Figura 30: Calculadora de la página web de SAUNIER DUVAL

Sin embargo, nos encontraremos un problema importante en los resultados dados por esta herramienta. Como se revela en la siguiente imagen, la calculadora solo mostrará los datos de consumo eléctrico en régimen de calefacción, es decir, no reflejará el consumo eléctrico de la bomba para los meses en los que el sistema trabaje en modo refrigeración.

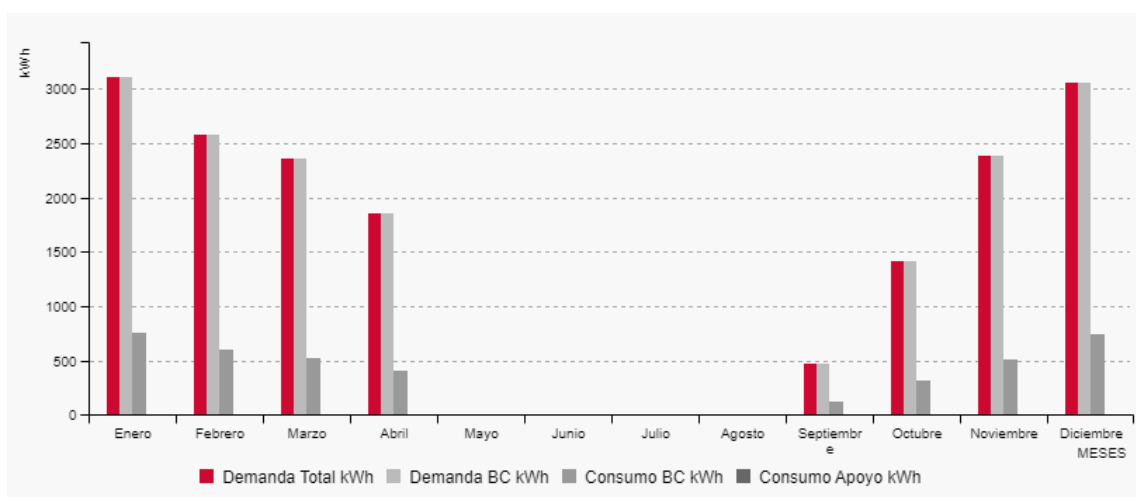


Figura 31: Resultados del consumo eléctrico de la GENIA AIR 8 dados por la calculadora de SAUNIER DUVAL [10]

Para solventar esta problemática, se estudiará un informe del archivo de la entidad colaboradora del proyecto, SUMICAR-PROPIBSA. En este documento se especifican los detalles de una instalación aerotérmica emplazada en una vivienda unifamiliar en la localidad de Soria. La parte de dicho informe que se va a utilizar en el proyecto académico es la referente al consumo eléctrico de la bomba aerotérmica marca DAIKIN, protagonista de la instalación.

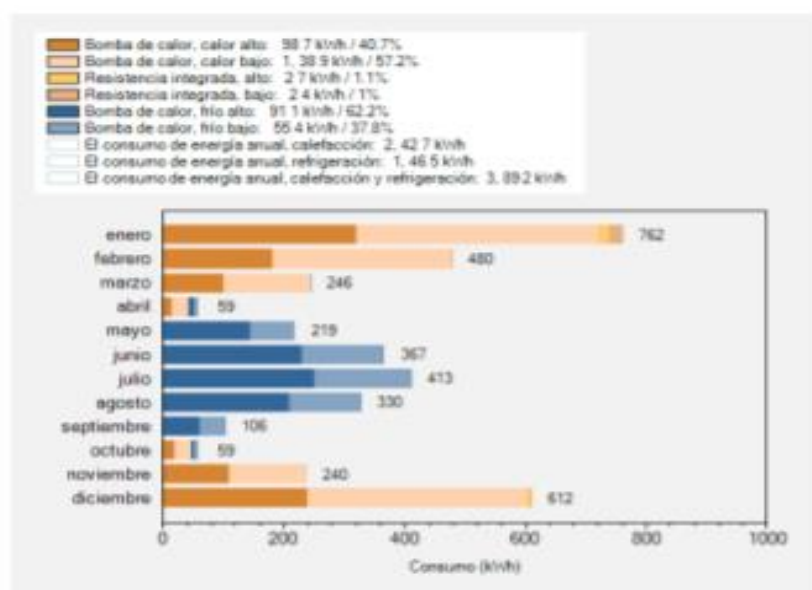


Figura 32: Evolución del consumo eléctrico de una bomba de calor en la localidad de Soria

Mediante este histograma, el objetivo será establecer una relación entre los consumos en junio, julio y agosto respecto al consumo máximo en enero para así extrapolar estas proporciones a las curvas de SAUNIER-DUVAL.

$$\Delta C_{junio}(\%) = \frac{367}{762} = 0,4816$$

$$\Delta C_{julio}(\%) = \frac{413}{762} = 0,542$$

$$\Delta C_{agosto}(\%) = \frac{330}{762} = 0,433$$

Finalmente, el producto de estos coeficientes por el consumo eléctrico en el mes de enero obtenido mediante la calculadora de SAUNIER DUVAL permitirá completar las curvas de consumo eléctrico de los diferentes modelos de bombas de calor de la marca para climatización. A continuación, se muestra la tabla de consumos eléctricos y la representación gráfica de la evolución de los mismos a lo largo del año.

Mes	GENIA AIR 5 (kWh)	GENIA AIR 8 (kWh)	GENIA AIR 11 (kWh)	GENIA AIR 15 (kWh)
Enero	395.11	759.25	881.86	1277.84
Febrero	311.31	605.66	727.11	1026.03
Marzo	262.76	524.41	664.38	889.45
Abril	198.9	406.34	531.46	675.36
Mayo	54.25	117.65	155.74	170.73
Junio	190.284976	365.6548	424.703776	615.407744
Julio	214.14962	411.5135	477.96812	692.58928
Agosto	171.08263	328.75525	381.84538	553.30472
Septiembre	54.25	117.65	155.74	170.73
Octubre	152.05	317.51	421.04	504.93
Noviembre	257.98	516.24	664.22	888.32
Diciembre	385.06	741.65	867.98	1246.63

Tabla 5: Consumo eléctrico mensual de la bomba de calor para climatización en función del sistema de aerotermia

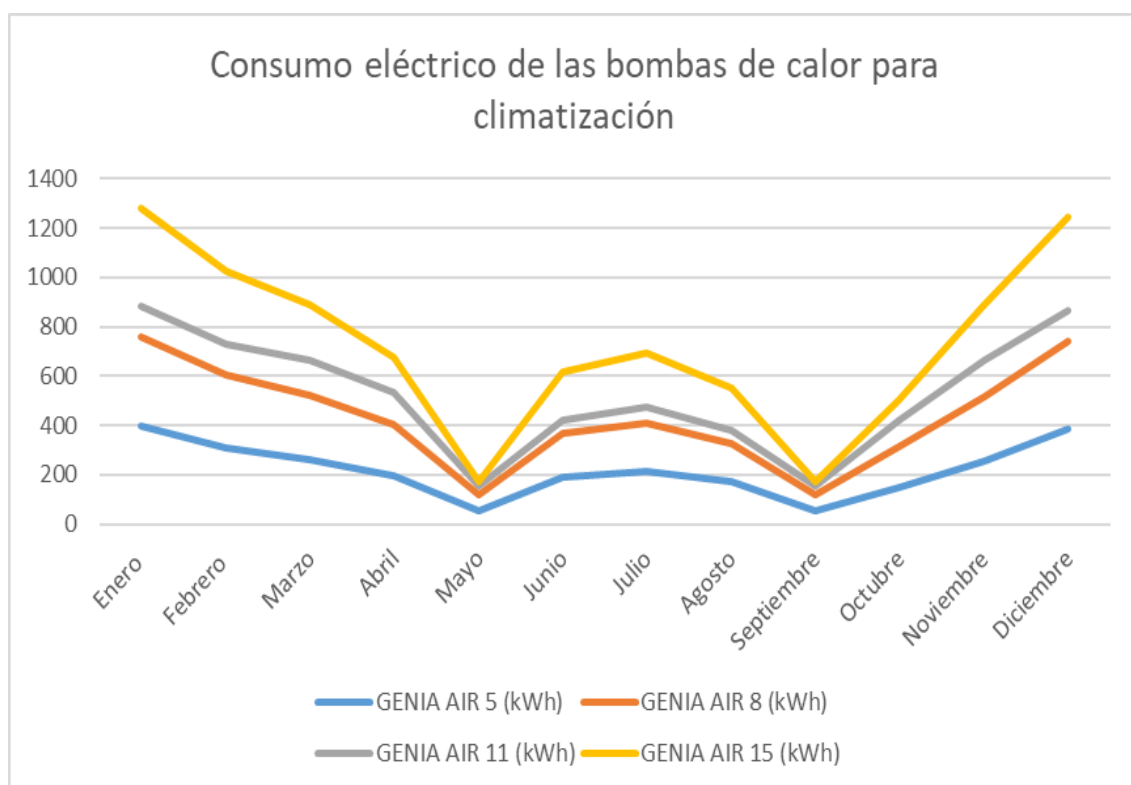
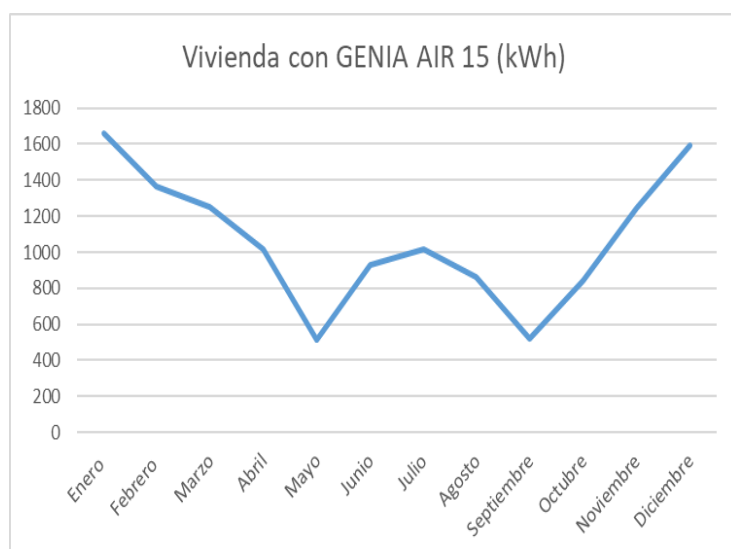
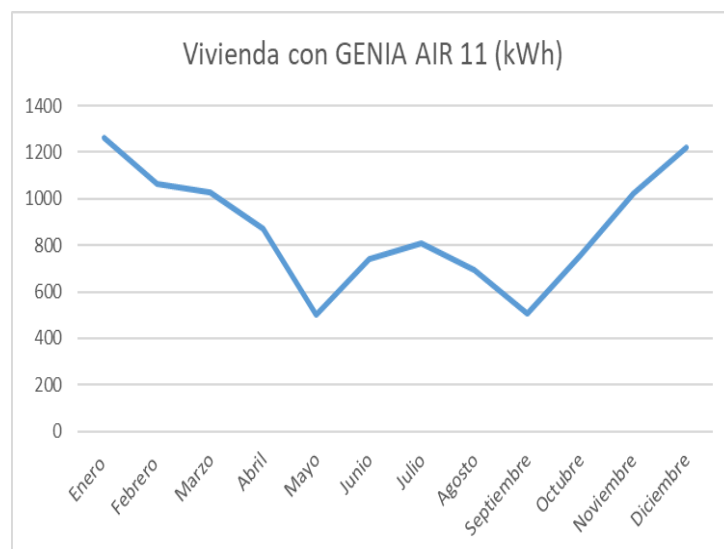
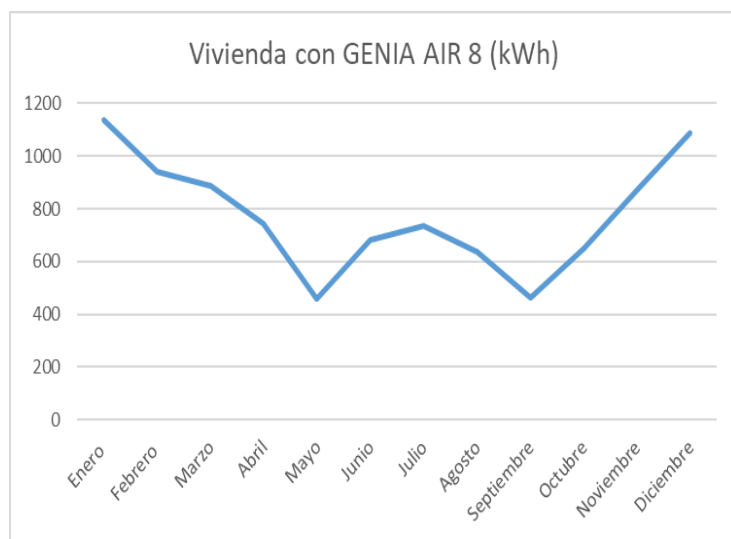
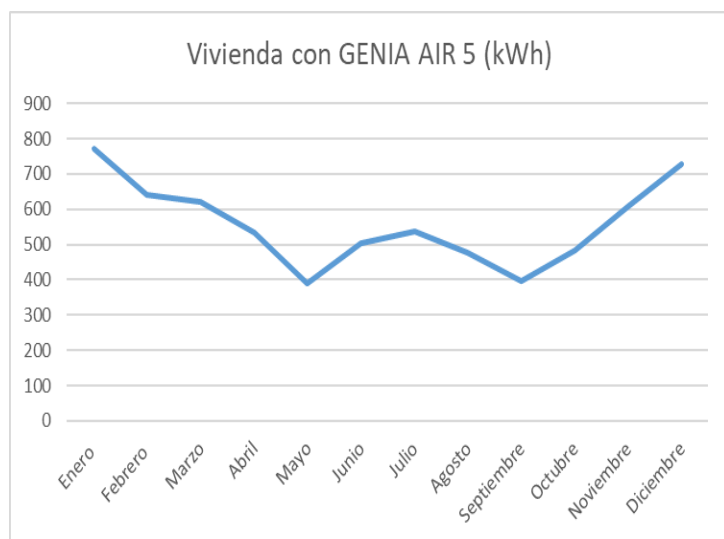


Figura 33: Evolución del consumo eléctrico de los modelos de bomba de calor de SAUNIER DUVAL para climatización

3.2.4 Consumo eléctrico total

Para concluir el apartado y el capítulo, el último paso consistirá en aglutinar todos los consumos obtenidos hasta el momento en uno solo. Estos datos finales corresponderán al consumo eléctrico total de una vivienda unifamiliar estándar que disponga de una instalación aerotérmica con una bomba de calor. Lógicamente, en función de la potencia de la bomba de calor instalada, el consumo de la vivienda será mayor o menor. Esta variación la podremos observar en la tabla y en la gráfica asociada en la siguiente página.

A pesar de la aparente disminución en la variabilidad del consumo eléctrico conforme se disminuye la potencia de la bomba instalada, esto dista mucho de la realidad. Analizando de forma individual cada curva, se puede observar que las evoluciones son muy similares siguiendo todas ellas una forma tipo “W” típica en este tipo de instalaciones. Con el objeto de no llevar a confusiones, a continuación se representan las curvas de consumo eléctrico de cada tipología de bomba aerotérmica de forma individualizada.



Figuras 34, 35, 36 y 37: Consumo eléctrico anual de una vivienda unifamiliar con sistema de aeroterminia GENIA AIR (Individualmente)

	CONSUMO DOMÉSTICO	CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA ACS				CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BOMBA DE CALOR PARA CLIMATIZACIÓN				CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL DE LA VIVIENDA			
MES	Factura (kWh)	ACS GENIA AIR 5 (kWh)	ACS GENIA AIR 8 (kWh)	ACS GENIA AIR 11 (kWh)	ACS GENIA AIR 15 (kWh)	GENIA AIR 5 (kWh)	GENIA AIR 8 (kWh)	GENIA AIR 11 (kWh)	GENIA AIR 15 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 5 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 8 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 11 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 15 (kWh)
Enero	311.716	63.6155102	66.32255319	70.84454545	69.27022222	395.11	759.25	881.86	1277.84	770.4415102	1137.288553	1264.420545	1658.826222
Febrero	274.92	56.10612245	58.49361702	62.48181818	61.09333333	311.31	605.66	727.11	1026.03	642.3361224	939.073617	1064.511818	1362.043333
Marzo	298.004	60.81714286	63.40510638	67.72818182	66.22311111	262.76	524.41	664.38	889.45	621.5811429	885.8191064	1030.112182	1253.677111
Abril	277.937	56.72183673	59.13553191	63.1675	61.76377778	198.9	406.34	531.46	675.36	533.5588367	743.4125319	872.5645	1015.060778
Mayo	279.864	57.11510204	59.54553191	63.60545455	62.192	54.25	117.65	155.74	170.73	391.229102	457.0595319	499.2094545	512.786
Junio	259.257	52.90959184	55.16106383	58.92204545	57.61266667	190.284976	365.6548	424.703776	615.407744	502.4515678	680.0728638	742.8828215	932.2774107
Julio	267.72	54.63673469	56.96170213	60.84545455	59.49333333	214.14962	411.5135	477.96812	692.58928	536.5063547	736.1952021	806.5335745	1019.802613
Agosto	254.87	52.01428571	54.22765957	57.925	56.63777778	171.08263	328.75525	381.84538	553.30472	477.9669157	637.8529096	694.64038	864.8124978
Septiembre	283.489	57.85489796	60.31680851	64.42931818	62.99755556	54.25	117.65	155.74	170.73	395.593898	461.4558085	503.6583182	517.2165556
Octubre	274.573	56.03530612	58.41978723	62.40295455	61.01622222	152.05	317.51	421.04	504.93	482.6583061	650.5027872	758.0159545	840.5192222
Noviembre	291.002	59.38816327	61.91531915	66.13681818	64.66711111	257.98	516.24	664.22	888.32	608.3701633	869.1573191	1021.358818	1243.989111
Diciembre	285.544	58.27428571	60.75404255	64.89636364	63.45422222	385.06	741.65	867.98	1246.63	728.8782857	1087.948043	1218.420364	1595.628222

Tabla 6: Consumo eléctrico anual total de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia GENIA AIR de 5, 8, 11 y 15 kW

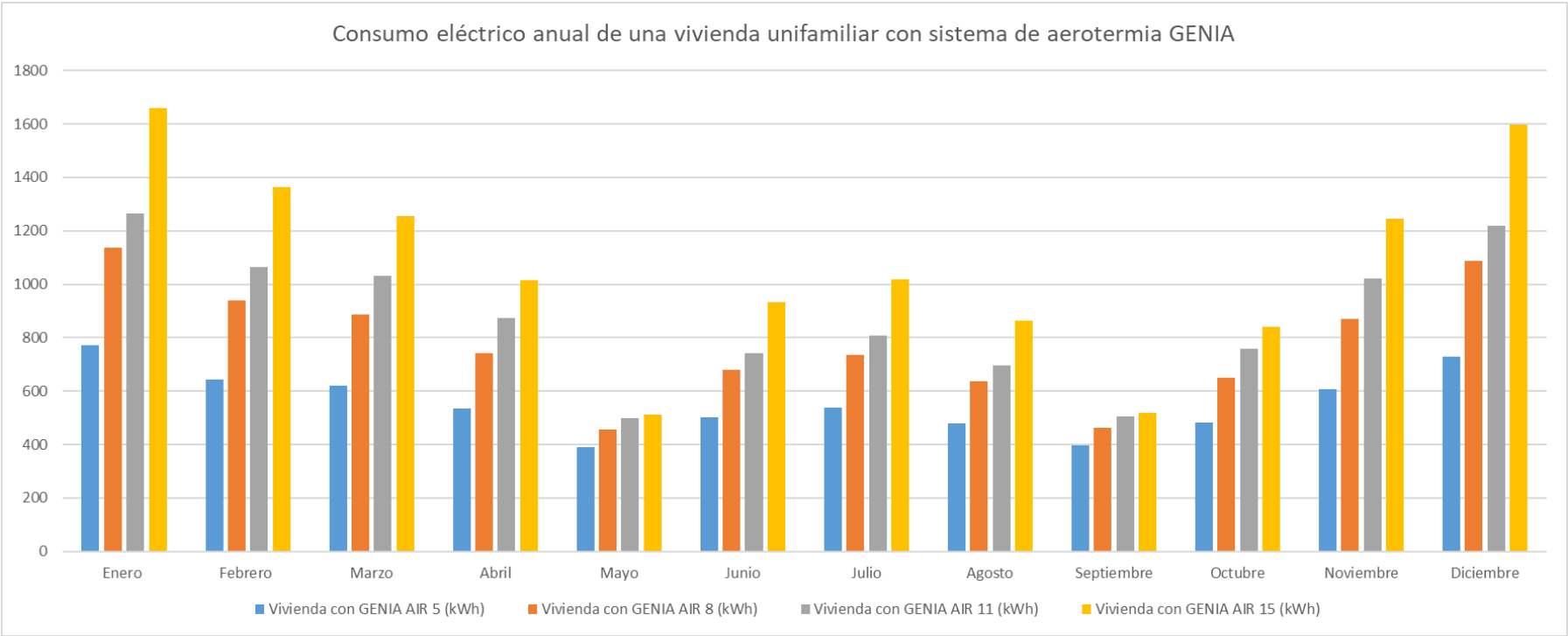


Figura 38: Evolución del consumo eléctrico anual de una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia GENIA AIR de 5, 8, 11 y 15 kW

Capítulo 4

DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ÓPTIMO

4.1 Análisis de la irradiancia en la zona de estudio (ZARAGOZA)

En este apartado, el objetivo será el estudio de la evolución de la irradiancia a lo largo del año en la zona de estudio del proyecto, Zaragoza. Este análisis de la radiación emitida por el sol se llevará a cabo mediante la herramienta PVGIS [11], una aplicación desarrollada por la Unión Europea que permite calcular la producción fotovoltaica en cualquier zona de Europa, Asia y América, permitiendo al usuario conocer las ventajas o desventajas que tendría instalar un equipo de autoconsumo en una zona geográfica determinada. Además de producciones fotovoltaicas, el programa PVGIS permite un análisis de la cantidad de radiación solar recibida en cualquier lugar del mundo a lo largo del día, mes o año.

Para empezar, se comenzará el capítulo analizando las principales variables de las cuales depende la irradiancia recibida por un plano concreto. Se debe tener en cuenta que el aprovechamiento máximo de la radiación producida por el sol ocurrirá en un plano completamente perpendicular a la incidencia de los rayos solares. Sin embargo, en una instalación fotovoltaica doméstica, debido a factores generalmente constructivos de la vivienda, esto raramente será posible. Teniendo esto en cuenta, se considera que los dos factores principales de los que depende la irradiancia recibida por un plano son: el azimut y la inclinación de dicho plano. El azimut se podrá definir como el ángulo medido en el plano horizontal formado por el Sol y la dirección sur, en el caso de encontrarnos en hemisferio norte. En el hemisferio sur la referencia se tomaría con la dirección norte. Por otro lado, la inclinación será el ángulo comprendido entre la superficie del suelo y la dirección normal al plano de estudio.

Existen distintos métodos para calcular el azimut y el ángulo de inclinación óptimo para un sistema de captación solar. En España se utiliza la metodología propuesta por el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE [12] que, para un ángulo de acimut concreto, muestra las distintas fracciones de aprovechamiento solar en función del ángulo de inclinación seleccionado. Sin embargo, la herramienta PVGIS, la cual se va a utilizar en este apartado, dispone de un método de cálculo automatizado y preciso del azimut y la inclinación del plano óptimo para una instalación fotovoltaica en la zona de estudio, Zaragoza.

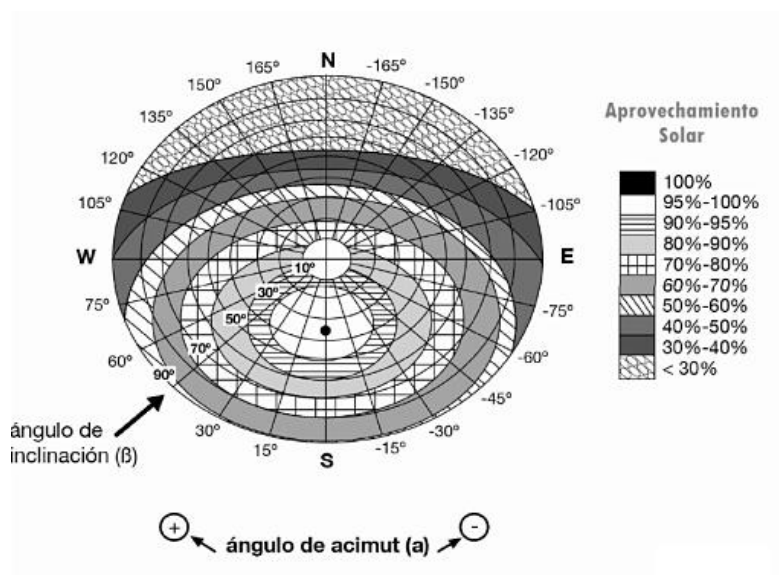


Figura 39: Tabla 2 del Pliego de Condiciones Técnicas (IDAE) [12]

Al mismo tiempo que se recopilan los datos de la irradiancia en Zaragoza, será interesante analizar como varía dicha radiación al alterar los valores de azimut e inclinación del plano de recepción solar. Para ello, se supondrá una instalación fotovoltaica estándar (1 kWp) y se establecerá un ángulo de azimut fijo para el cual se obtendrán diferentes gráficos de irradiancia variando el ángulo de inclinación. Posteriormente, se realizará el proceso inverso, es decir, se definirá un ángulo de inclinación fijo y se obtendrán las curvas de irradiancia correspondientes a la instalación mientras se varía el ángulo de azimut.

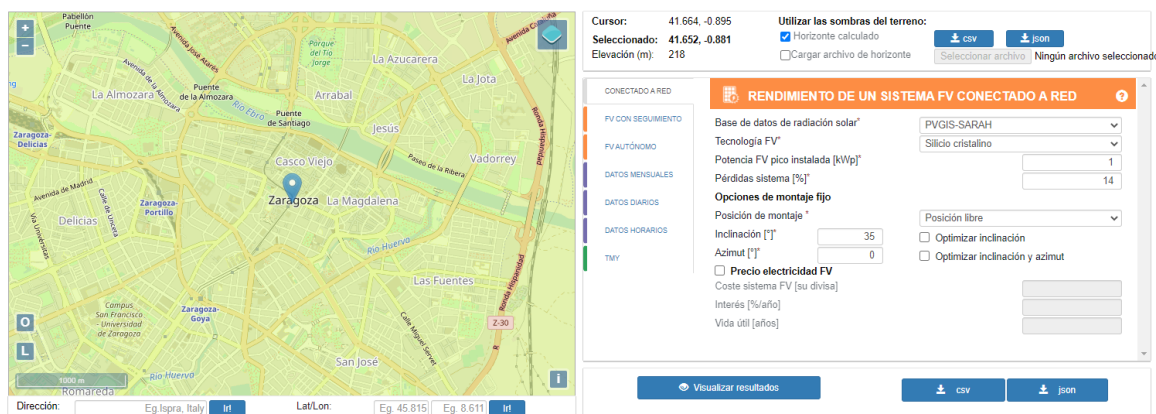


Figura 40: Interfaz de la herramienta online PVGIS [11]

❖ Análisis del ángulo de azimut

Para el entender la implicación del ángulo de azimut en la captación de la radiación solar, primero se establecerá un ángulo de inclinación fijo (35°). Para esta inclinación, se darán varios valores al ángulo de azimut (0°, 15°, 30°, 60° y 90°) y se representarán las irradiancias obtenidas en una gráfica.

IRRADIANCIA SEGÚN AZMINUT PARA UNA INCLINACIÓN DE 35°					
Mes	0° (kWh/m2)	15° (kWh/m2)	30° (kWh/m2)	60° (kWh/m2)	90° (kWh/m2)
Enero	111,42	109,46	103,8	84,49	60,62
Febrero	138,9	136,89	130,91	110,43	84,56
Marzo	176,67	174,64	169,37	151,64	127,44
Abril	186,43	185,64	182,58	172,25	156,16
Mayo	202,65	202,9	202,17	198,08	187,62
Junio	207,89	207,71	206,82	204,1	196,15
Julio	230,06	230,61	229,7	226,17	215,26
Agosto	224,87	224,98	222,39	212,8	195,4
Septiembre	191,38	190,54	186,11	170,42	147,43
Octubre	160,73	159,2	153,43	133,34	106,6
Noviembre	115,73	113,92	108,46	89,46	65,91
Diciembre	101,98	99,91	94,34	75,44	52,71
Total	2048,71	2036,4	1990,08	1828,62	1595,86

Tabla 7: Irradiancia en Zaragoza según ángulo azimutal para un ángulo de inclinación fijo de 35°

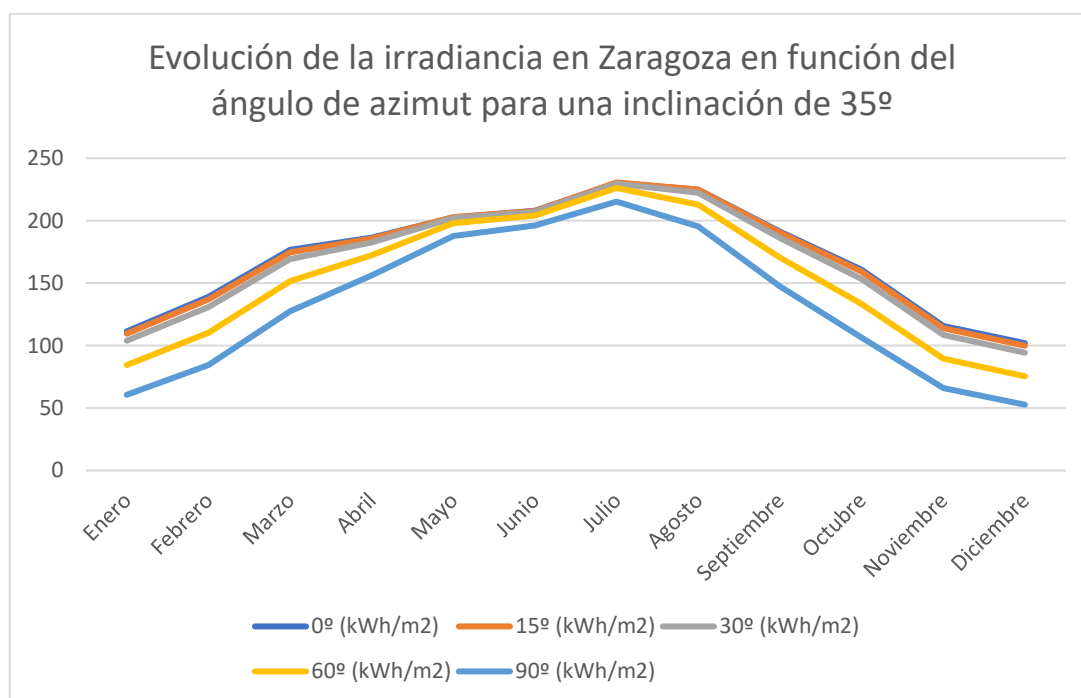


Figura 41: Evolución de la irradiancia en Zaragoza en función del ángulo de azimut para un ángulo de inclinación fijo de 35°

❖ Análisis del ángulo de inclinación

De la misma forma que en el caso anterior, se deseará conocer qué implicaciones origina la variación del ángulo de inclinación del plano de captación solar. Para ello, se establecerá un ángulo de azimut fijo (0°), para el cual se darán varios valores al ángulo de inclinación (20° , 25° , 30° , 35° y 40°) y finalmente se representarán las irradiancias obtenidas en una gráfica.

IRRADIANCIA SEGÚN INCLINACIÓN PARA UN AZIMUT DE 0°					
Mes	20° (kWh/m 2)	25° (kWh/m 2)	30° (kWh/m 2)	35° (kWh/m 2)	40° (kWh/m 2)
Enero	94,08	100,5	106,3	111,42	115,83
Febrero	122,07	128,5	134,13	138,9	142,77
Marzo	165,33	170,15	173,94	176,67	178,31
Abril	185,54	186,91	187,19	186,43	184,55
Mayo	211,18	209,49	206,6	202,65	197,64
Junio	221,32	218,1	213,62	207,89	201,26
Julio	242,99	240,12	235,81	230,06	222,93
Agosto	227,68	228,14	227,21	224,87	221,21
Septiembre	182,98	186,93	189,74	191,38	191,82
Octubre	144,75	151,02	156,36	160,73	164,07
Noviembre	99,17	105,36	110,89	115,73	119,83
Diciembre	84,94	91,2	96,9	101,98	106,4
Total	1982,03	2016,42	2038,69	2048,71	2046,62

Tabla 8: Irradiancia en Zaragoza según ángulo de inclinación para un ángulo de azimut fijo de 0°

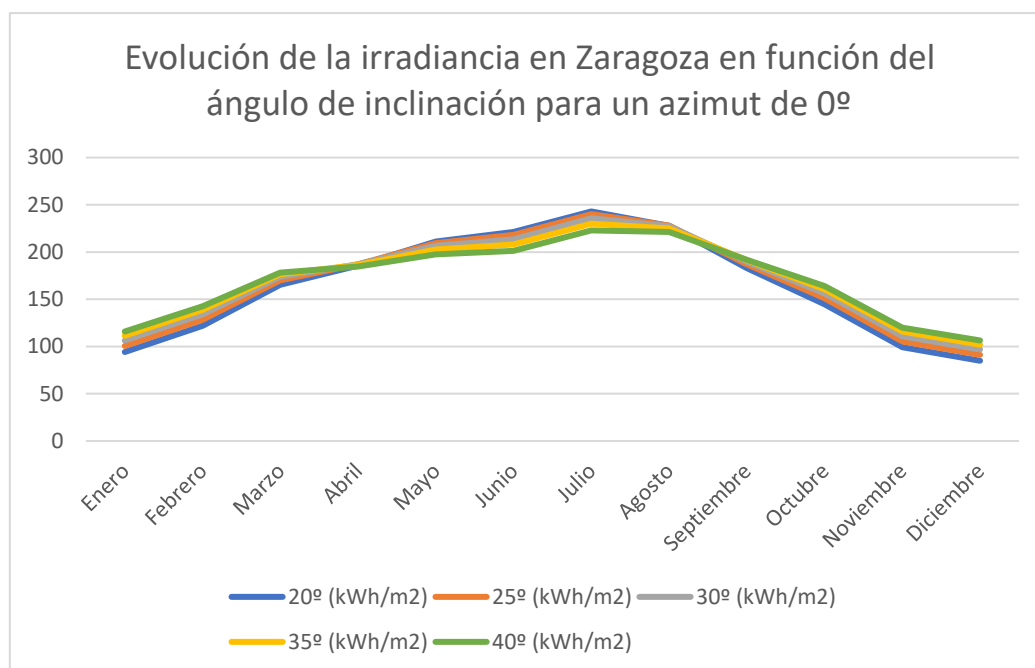


Figura 42: Evolución de la irradiancia en Zaragoza en función del ángulo de inclinación para un ángulo de azimut de 0°

❖ Conclusión

Al estudiar las tablas y las gráficas obtenidas, podemos determinar que la variación del ángulo de azimut es muchísimo más influyente que la del ángulo de inclinación. Por este motivo, para posteriores cálculos, se utilizará la tabla calculada que muestra la irradiancia en función del ángulo de azimut para un ángulo de inclinación fijo de 35° .

4.2 Cálculo del Performance Ratio (PR) del sistema fotovoltaico

Una vez se disponga de los datos de la irradiancia percibida por varios planos con distinto azimut en la zona de estudio, el siguiente paso será calcular las pérdidas asociadas al sistema fotovoltaico y, por consiguiente, su Performance Ratio (PR). Se recuerda que el presente proyecto no tiene como objetivo el análisis de una instalación fotovoltaica concreta, sino que el fin del mismo es el estudio de varios sistemas (HelioPV) con distintas potencias pico. Por este motivo, en este apartado, los cálculos de las pérdidas en la instalación se habrán de estimar de la forma más precisa posible para que sean válidos para todos los modelos de generación fotovoltaica presentes en la marca de SAUNIER DUVAL.

❖ Pérdidas por temperatura de la célula

Los módulos fotovoltaicos sufrirán unas pérdidas variables a lo largo del año debidas a la diferencia de la temperatura a la que estén operando respecto de la nominal. Estas pérdidas se calcularán mediante la aplicación de dos ecuaciones y se estimarán idénticas para todos los sistemas de HelioPV a analizar en el proyecto. Para comenzar, se calculará la temperatura de operación de las células en función de la temperatura ambiente y la temperatura de operación nominal de la célula (TONC). Las temperaturas ambientales, lógicamente variables a lo largo del año, las obtendremos a partir de la herramienta PVGIS mientras que la TONC la extraeremos de la ficha técnica del módulo fotovoltaico. También será necesaria la irradiancia en W/m^2 la cual será extraída en formato promedio mensual también de la herramienta online PVGIS.

$$T_c = T_{amb} + \frac{TONC - 20^{\circ}C}{800 W/m^2} * G$$

Eficiencia de módulo solar	%	18,3	18,9
Temperatura NOCT	°C	44,5	44,5
COEFICIENTE DE TEMPERATURA			
Potencia (P _{nom})	W/°C	-0,4	-0,4
Tensión (V _{oc})	V/°C	-0,29	-0,29

Figura 43: TONC y variación de la potencia en función de la temperatura del módulo fotovoltaico a estudiar

Mes	Tª promedio (°C)	TONC (°C)	G (W/m2)	Tª operación (°C)
Enero	7	44.5	259.18	14.9373875
Febrero	8.8	44.5	356.69	19.72363125
Marzo	10.8	44.5	511.29	26.45825625
Abril	16.3	44.5	537.28	32.7542
Mayo	19.2	44.5	557.19	36.26394375
Junio	22.2	44.5	598.44	40.527225
Julio	23.4	44.5	612.87	42.16914375
Agosto	26.2	44.5	584.25	44.09265625
Septiembre	23.1	44.5	558.72	40.2108
Octubre	16.8	44.5	423.75	29.77734375
Noviembre	12.4	44.5	272.72	20.75205
Diciembre	7.3	44.5	256.98	15.1700125

Tabla 9: Temperatura de operación de las células fotovoltaicas en función del mes

Una vez se dispone de las temperaturas de operación de las células fotovoltaicas por mes, se podrá calcular la pérdida o ganancia de rendimiento en función de este dato y del parámetro de variación de la potencia con respecto a la temperatura, visible en la ficha técnica del módulo fotovoltaico mostrada en la página anterior. Como se puede observar en la tabla 10, en los meses de verano se producirán unas pérdidas notables mientras que en los meses más fríos la instalación dispondrá de una eficiencia más elevada.

$$\Delta P(\%) = -\Delta P * (T_c - 25^\circ C)$$

Mes	Tª operación (°C)	-ΔP (%/°C)	ΔP (%)
Enero	14.9373875	-0.4	4.025045
Febrero	19.72363125	-0.4	2.1105475
Marzo	26.45825625	-0.4	-0.5833025
Abril	32.7542	-0.4	-3.10168
Mayo	36.26394375	-0.4	-4.5055775
Junio	40.527225	-0.4	-6.21089
Julio	42.16914375	-0.4	-6.8676575
Agosto	44.09265625	-0.4	-7.6870625
Septiembre	40.2108	-0.4	-6.08432
Octubre	29.77734375	-0.4	-1.9109375
Noviembre	20.75205	-0.4	1.69918
Diciembre	15.1700125	-0.4	3.931995

Tabla 10: Variación de la potencia producida por los módulos fotovoltaicos en función de su temperatura de operación real

❖ Pérdidas por mismatching

Es importante tener en cuenta que no todos los módulos fotovoltaicos presentes en un sistema son iguales. Existen múltiples factores como las tolerancias en los procesos de fabricación, posibles defectos, distintas degradaciones, etc. que pueden generar variaciones en la característica eléctrica del módulo denominada punto de máximo potencia (MPP). Si la potencia máxima que un módulo es capaz de producir difiere de otro módulo al cual está conectado, se produce un fenómeno de desajuste o mismatching que dará lugar a un funcionamiento ineficiente del generador fotovoltaico. En nuestro caso, las pérdidas por conexionado de los paneles (L_{mismatch}) las estimaremos en un 2%.

❖ Pérdidas por polvo y suciedad

La deposición de polvo y suciedad en la superficie de la cubierta de un módulo fotovoltaico puede originar una disminución de la potencia debida la reducción de la corriente y tensión entregada por el sistema generador. Además, en el caso de que la suciedad esté muy localizada en una zona del panel, se puede generar un problema de mismatching que también provocará pérdidas en la producción global de electricidad. Estas pérdidas las podríamos cuantificar en función de la zona de instalación del sistema fotovoltaico. Por ejemplo, en localizaciones como polígonos industriales donde abunda el humo u otros gases, las pérdidas podrían alcanzar un valor cercano al 4 o 5%. Como en este proyecto se trata exclusivamente el uso doméstico, (L_{suciedad}) se estimará como un 3%.

❖ Pérdidas angulares y espectrales

La potencia nominal de un módulo fotovoltaico que da un fabricante está referida a unas condiciones de medida estándar (STC) que implican una incidencia de radiación perpendicular y un espectro estándar AM1.5G. Sin embargo, en la práctica, ni la incidencia de los rayos solares es normal, ni el espectro es estándar durante el tiempo de operación. La incidencia de radiación suele tener un ángulo superior a 0° generando así unas pérdidas de potencia respecto a la nominal. De la misma forma, los módulos fotovoltaicos producen una corriente mayor o menor en función del espectro solar que captan. En el caso de captar uno distinto al estándar AM1.5G, se producirán unas pérdidas espectrales en la generación de energía del sistema. Estas pérdidas ($L_{a,e}$) se estimarán de un 3%.

❖ Pérdidas por sombreado sobre el campo de captación

Los sistemas fotovoltaicos de conexión a red se suelen instalar en entornos urbanos en los que, en muchas ocasiones, es inevitable la presencia de sombras en determinadas horas del día sobre los paneles generadores. Edificios cercanos al lugar donde se ubican los módulos, árboles, el vallado de la instalación, las casetas prefabricadas de los inversores, etc. pueden proyectar sombras con un efecto muy negativo en la generación eléctrica del sistema. Estas sombras provocarán unas determinadas pérdidas energéticas causadas en primer lugar por la disminución de captación de irradiación solar y por otro lado por los posibles efectos de mismatching a los que puedan dar lugar. Para poder evaluar con precisión los diferentes tipos de sombra y sus efectos sobre los módulos, es recomendable realizar un análisis de sombras en el lugar de la instalación. Este análisis se refleja en el Anexo 3 del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones conectadas a la red [12]. En resumidas cuentas, el procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. Mediante esta comparación, se usarán unas tablas de referencia presentes en el documento [12] que permitirán calcular las pérdidas por sombreado del sistema fotovoltaico. No obstante, como en el caso de análisis del proyecto no se dispone de un perfil de sombras concreto, estas pérdidas (L_{sombras}) se estimarán de un 2.5%.

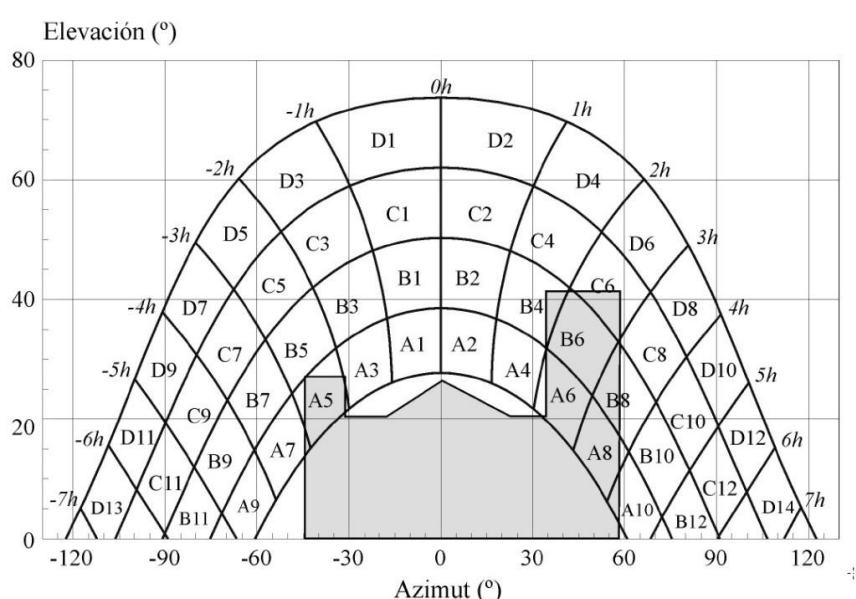


Figura 44: Perfil de trayectoria de la radiación solar para una localización dada [12]

❖ Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal

Los paneles fotovoltaicos, al ser obtenidos mediante un proceso de fabricación industrial continuo, podríamos pensar que deben ser constructivamente idénticos unos a otros. No obstante, en estos procesos de fabricación existe cierta dispersión que provoca una leve diferencia en las potencias nominales existente en estos dispositivos. En función del fabricante y del modelo, la potencia real del módulo puede variar alrededor de un 3%, 5% o 10% siendo mayor o menor que la potencia nominal de la hoja de características. En el caso de que la potencia real sea menor, la producción de energía será inferior a la que se obtendría si los paneles rindieran con una potencia real igual a la nominal. En el caso de la gama HelioPV, al tratarse de un pack fotovoltaico, se estimarán unas pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal ($L_{\text{cump.nominal}}$) bajas, del orden de un 1%.

❖ Pérdidas óhmicas en el cableado

A lo largo de todo el sistema de cableado de la instalación fotovoltaica se producirán unas pérdidas energéticas originadas por efecto Joule. Estas pérdidas podrán minimizarse dimensionando adecuadamente la sección de los conductores en función de la corriente que vaya a circular por ellos. Las pérdidas óhmicas en el cableado (L_{ohm}) se estimarán en un 1,5%.

❖ Pérdidas en el inversor

El inversor, como dispositivo electrónico encargado de la conversión de corriente continua a alterna, tendrá una eficiencia concreta, nunca del 100%. De la misma manera, el sistema de seguimiento de máxima potencia del inversor (MPPT) no siempre operará en el punto óptimo por lo que surgirán otras pérdidas de potencia respecto a la nominal. Estas pérdidas en concreto, las podemos obtener de la ficha técnica del inversor incluido en el pack HelioPV. Como se puede observar en la siguiente imagen, en función de la potencia del inversor, se tendrán distintas eficiencias de los mismos. Como la variación es prácticamente insignificante, se escogerá una eficiencia promedio de las 4 que aparecen en el documento. Finalmente, la eficiencia media será de un 96,4% originando así unas pérdidas en el inversor (L_{inv}) de un 3,6%.

Corriente max. salida	A	12	12	14	14	16
EFICIENCIA						
Eficiencia máxima	%		97,4			97,0
Eficiencia europea	%	96,1	96,5	96,6		96,3
Eficiencia MPPT	%		100 0 dinámica 100 7 estática			

Figura 45: Eficiencias de los modelos de inversor de la gama HelioPV

❖ Cálculo del performance ratio

El performance ratio es el parámetro más importante en cuanto al análisis de una instalación fotovoltaica ya que representa el rendimiento global del sistema generador de energía. Además de poder calcularse como el cociente del índice de producción final del sistema (Y_f) y el índice de producción de referencia (Y_r), también se puede obtener mediante la operación de las pérdidas de rendimiento de la instalación. En el sistema propuesto se deberán distinguir dos zonas dentro del esquema eléctrico de la instalación, la previa al inversor y la posterior al inversor. La mayoría de pérdidas ocurrirán en la zona previa al inversor por lo que se aplicarán sobre el 100% de la potencia producida. Éstas serán las pérdidas por temperatura, por mismatching, por polvo y suciedad, las pérdidas angulares y espectrales, por sombreado y por no cumplimiento de la potencia nominal. Por otro lado, las pérdidas por eficiencia del inversor se aplicarán sobre la potencia a la entrada del inversor, es decir, sobre la potencia útil obtenida al descontar las pérdidas anteriores. Las pérdidas óhmicas, al estar localizadas en el cableado de toda la instalación se dividirán en dos idénticas y cada una de ellas se aplicarán en un tramo del esquema.

Para facilitar la comprensión de los resultados, se adaptarán las pérdidas en la zona posterior al inversor ($L_{ohm,2}$ y L_{inv}) sobre la potencia útil a la entrada del inversor a unas pérdidas globales ($L_{ohm,2*}$ y L_{inv*}) sobre la potencia de generación del sistema. Esta transformación se realizará multiplicando la eficiencia del sistema antes del inversor por ambas pérdidas ya comentadas.

$$L_{ohm} = L_{ohm,1} + L_{ohm,2}$$

$$L_{inv*} = \left(1 - (L_{temp} + L_{mismatch} + L_{suciedad} + L_{a,e} + L_{sombra} + L_{cump.nom.} + L_{ohm,1})\right) * L_{inv}$$

$$L_{ohm,2*} = \left(1 - (L_{temp} + L_{mismatch} + L_{suciedad} + L_{a,e} + L_{sombra} + L_{cump.nom.} + L_{ohm,1})\right) * L_{ohm,2}$$

Como se podrá observar en la tabla 11, el mayor condicionante del performance ratio de la instalación fotovoltaica serán las pérdidas por temperatura. Estas pérdidas de rendimiento ocasionarán un funcionamiento menos eficiente del sistema generador fotovoltaico en los meses de verano, llegando a un mínimo de 72,27% de eficiencia en Julio.

PÉRDIDAS ANTES DEL INVERSOR								PÉRDIDAS DESPUÉS DEL INVERSOR					
Mes	L _{temperatura} (%)	L _{mismatch} (%)	L _{suciedad} (%)	L _{a,e} (%)	L _{sombras} (%)	L _{cump} (%)	L _{ohm,1} (%)	L _{ohm,2} (%)	L _{ohm,2*} (%)	L _{inv} (%)	L _{inv*} (%)	L _{TOTALES} (%)	PR
Enero	4.025045	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.688312838	-3.6	-3.30390162	-16.56716946	83.4328305
Febrero	2.1105475	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.673954106	-3.6	-3.23497971	-18.39838632	81.6016137
Marzo	-0.5833025	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.653750231	-3.6	-3.13800111	-20.97505384	79.0249462
Abril	-3.10168	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.6348624	-3.6	-3.04733952	-23.38388192	76.6161181
Mayo	-4.5055775	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.624333169	-3.6	-2.99679921	-24.72670988	75.2732901
Junio	-6.21089	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.611543325	-3.6	-2.93540796	-26.35784129	73.6421587
Julio	-6.8676575	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.606617569	-3.6	-2.91176433	-26.9860394	73.0139606
Agosto	-7.6370625	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.600847031	-3.6	-2.88406575	-27.72197528	72.2780247
Septiembre	-6.08432	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.6124926	-3.6	-2.93996448	-26.23677708	73.7632229
Octubre	-1.9109375	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.643792969	-3.6	-3.09020625	-22.24493672	77.7550633
Noviembre	1.69918	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.67086885	-3.6	-3.22017048	-18.79185933	81.2081407
Diciembre	3.931995	-2	-3	-3	-2.5	-1	-0.75	-0.75	-0.687614963	-3.6	-3.30055182	-16.65617178	83.3438282

Tabla 11: Estimación del Performance Ratio del sistema fotovoltaico HelioPV en función del mes

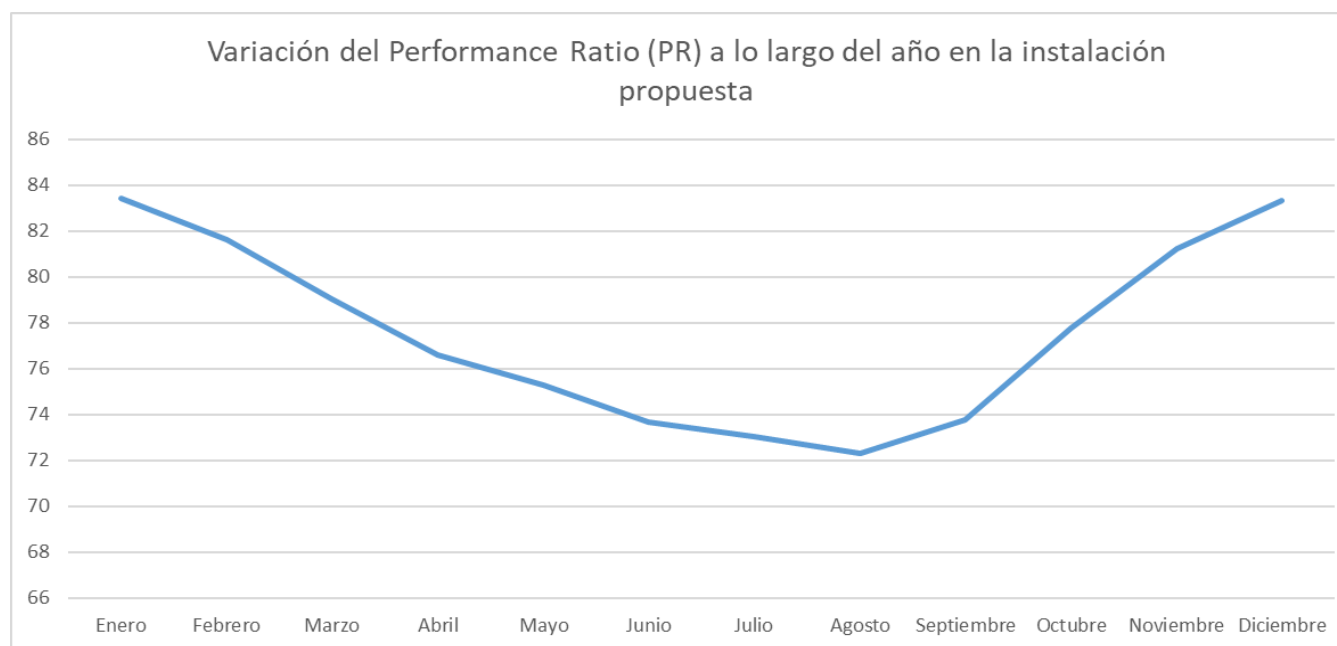


Figura 46: Evolución del Performance Ratio estimado del sistema fotovoltaico HelioPV a lo largo del año

4.3 Análisis de la producción energética del sistema fotovoltaico

Una vez se dispone de los datos de irradiancia real, performance ratio, irradiancia en condiciones estándar y potencia pico del sistema fotovoltaico, es posible calcular la energía que producirá la instalación a lo largo del año. En el caso de estudio, los datos de irradiancia y potencias pico no se han supuesto fijos, sino que se han tomado varios valores para poder realizar estimaciones de la producción energética en condiciones de distintas irradiancias y para diferentes modelos de potencia del sistema HelioPV. Cabe destacar que las potencias pico de cada sistema se han obtenido mediante la ficha técnica del inversor de cada tipología de sistema fotovoltaico HelioPV ya que es este dispositivo el que marca la potencia nominal del sistema.

Modelo	Ud.	SDPV 1500/2 230V	SDPV 2000/2 230V	SDPV 2500/2 230V	SDPV 3000/2 230V	SDPV 4000/2 230V
Referencia		0010024762	0010024763	0010024764	0010024765	0010024766
ENTRADA DC						
Nº entradas (MPP tracker*)	-	1	1	1	1	2
Tensión de entrada	V	250	250	250	250	250
Tensión máx. entrada	V	450	450	450	750	750
Rango tensión funcion.	V	75 ... 360			125 ... 600	150 ... 600
Corriente nom. entrada	A	8				
Corriente máx. entrada	A	≤13				
SALIDA AC						
Potencia nom. salida	W	1.500	2.000	2.500	3.000	3.680
Potencia máx. aparente	VA	1.500	2.000	2.500	3.000	3.680
Tensión salida nominal	V	230				
Rango frecuencia salida	Hz	45 - 65				
Corriente nom. salida	A	7				

Figura 47: Potencias nominales de salida del inversor de cada sistema HelioPV

Para calcular la producción energética se utilizará la fórmula que se presenta a continuación. Como es lógico, para cada plano de irradiancia y cada potencia pico se obtendrá una producción anual diferente.

$$E_{gen} = PR * \frac{H_{\alpha,\beta}}{G_{STC}} * P_{FV}$$

Otra forma de representar esta ecuación es sustituir el cociente de las irradiancias por un factor conocido como “Hora solar pico” (HSP). La hora solar pico es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m². Una hora solar pico equivale a 3,6 MJ/m² o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m². A efectos teóricos y prácticos, ambas fórmulas son idénticas.

$$E_{gen} = PR * HSP * P_{FV}$$

		IRRADIACIONES EN FUNCIÓN DE LA ORIENTACIÓN DEL MÓDULO (kWh/m2)					IRRADIANCIA STC (kW/m2)	POTENCIAS PICO DE LOS MODELOS HELIOPV (kWp)					
Mes	PR	H ($\alpha=0^\circ, \beta=35^\circ$)	H ($\alpha=15^\circ, \beta=35^\circ$)	H ($\alpha=30^\circ, \beta=35^\circ$)	H ($\alpha=60^\circ, \beta=35^\circ$)	H ($\alpha=90^\circ, \beta=35^\circ$)	G*	P _{FV,PICO} (HelioPV 1.)	P _{FV,PICO} (HelioPV 2.)	P _{FV,PICO} (HelioPV 2.)	P _{FV,PICO} (HelioPV 3.)	P _{FV,PICO} (HelioPV 4.)	E _{PRODUCCIÓN A RE}
Enero	83,43283054	111,42	109,46	103,8	84,49	60,62	1	1,5	2	2,5	3	3,68	278,8825794
Febrero	81,60161368	138,9	136,89	130,91	110,43	84,56	1	1,5	2	2,5	3	3,68	340,0339242
Marzo	79,02494616	176,67	174,64	169,37	151,64	127,44	1	1,5	2	2,5	3	3,68	418,8401171
Abril	76,61611808	186,43	185,64	182,58	172,25	156,16	1	1,5	2	2,5	3	3,68	428,5062868
Mayo	75,27329012	202,65	202,9	202,17	198,08	187,62	1	1,5	2	2,5	3	3,68	457,6239673
Junio	73,64215872	207,89	207,71	206,82	204,1	196,15	1	1,5	2	2,5	3	3,68	459,2840513
Julio	73,0139606	230,06	230,61	229,7	226,17	215,26	1	1,5	2	2,5	3	3,68	503,9277533
Agosto	72,27802472	224,87	224,98	222,39	212,8	195,4	1	1,5	2	2,5	3	3,68	487,5947826
Septiembre	73,76322292	191,38	190,54	186,11	170,42	147,43	1	1,5	2	2,5	3	3,68	423,5041681
Octubre	77,75506328	160,73	159,2	153,43	133,34	106,6	1	1,5	2	2,5	3	3,68	374,9271396
Noviembre	81,20814067	115,73	113,92	108,46	89,46	65,91	1	1,5	2	2,5	3	3,68	281,9465436
Diciembre	83,34382822	101,98	99,91	94,34	75,44	52,71	1	1,5	2	2,5	3	3,68	254,982108

Tabla 12: Producción energética mensual de los sistemas de generación fotovoltaica HelioPV en función de la orientación de los módulos

Mediante la tabla presente en esta página, seleccionando un plano de irradiancia de los 5 disponibles y una potencia pico asociada a las 5 tipologías de sistemas HelioPV, será posible calcular la producción energética mensual de la instalación fotovoltaica. Como es lógico, a menor ángulo de orientación mayor será la irradiancia recibida por los módulos y a mayor potencia pico instalada mayor será la producción final de electricidad.

Como ejemplo, a la derecha se muestra el histograma resultante de calcular la producción energética del sistema fotovoltaico HelioPV 3.0 para un ángulo azimutal de 0° , es decir, para una orientación de los módulos fotovoltaicos completamente hacia el sur.

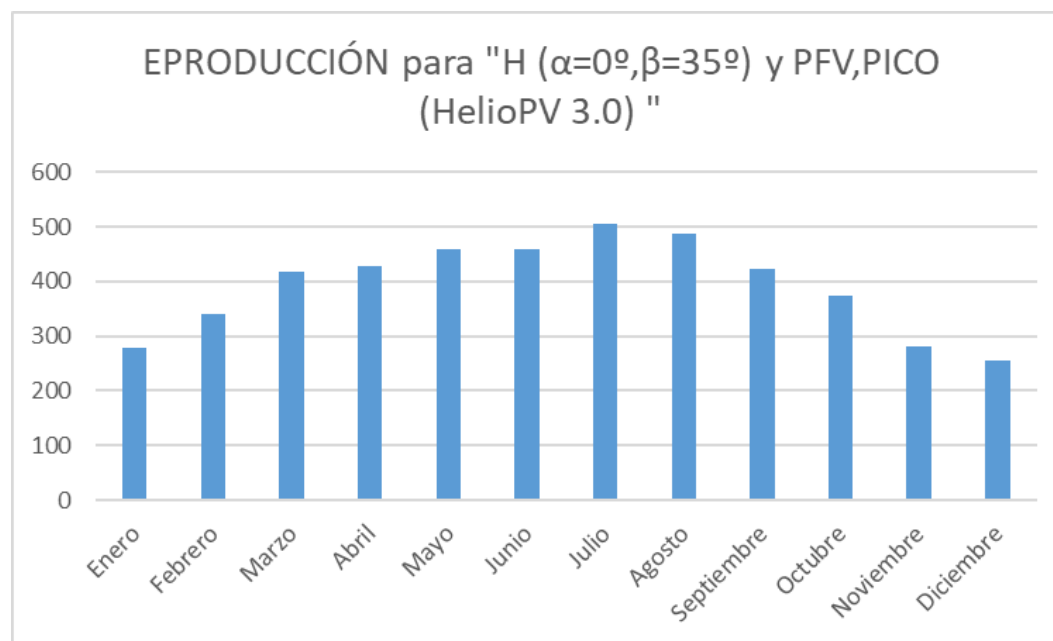


Figura 48: Evolución de la producción energética del sistema fotovoltaico HelioPV 3.0 para un plano de irradiancia de azimut 0°

4.4 Análisis de la potencia pico ideal para cada tipología de vivienda unifamiliar

El objetivo de este apartado será tratar de establecer una comparación entre las distintas producciones estimadas en la sección anterior y los consumos de las diferentes tipologías de viviendas unifamiliares según su sistema de aerotermia instalado, las cuales se han tratado en el capítulo anterior. Lo que se buscará será dimensionar el sistema fotovoltaico, es decir, escoger el sistema fotovoltaico HelioPV óptimo para cada vivienda tipo y, a su vez, para cada orientación posible reflejada en la tabla del apartado anterior. Este proceso se realizará representando en una misma gráfica las curvas de producción de cada sistema HelioPV para cada ángulo acimutal dado junto a las curvas de consumo de cada tipología de vivienda. En esencia, lo que se obtendrá serán 5 curvas de producción y 1 curva de consumo.

En términos de rentabilidad, lo más sensato será escoger la curva de producción que no genere ningún excedente a lo largo del año, es decir, que no supere a la curva de consumo de la vivienda. Hay que recordar que, el hecho de que no se produzcan excedentes a lo largo del año implica que, en el balance mensual, la energía producida siempre será menor que la energía demandada por el domicilio. Sin embargo, en el balance diario esto podrá no ser así ya que podrán existir momentos durante el día en los que la producción fotovoltaica supere a la demanda de la vivienda. Será en estos momentos cuando entrará en juego el sistema de almacenaje térmico tratado en capítulos anteriores reduciendo así la carga de trabajo de la bomba de calor y disminuyendo la factura eléctrica.

En la siguiente tabla se muestran los consumos estimados para cada tipología de vivienda en función de la potencia del sistema aerotérmico instalado.

CONSUMOS			
Vivienda con GENIA AIR 5 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 8 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 11 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 15 (kWh)
770,4415102	1137,288553	1264,420545	1658,826222
642,3361224	939,073617	1064,511818	1362,043333
621,5811429	885,8191064	1030,112182	1253,677111
533,5588367	743,4125319	872,5645	1015,060778
391,229102	457,0595319	499,2094545	512,786
502,4515678	680,0728638	742,8828215	932,2774107
536,5063547	736,1952021	806,5335745	1019,802613
477,9669157	637,8529096	694,64038	864,8124978
395,593898	461,4558085	503,6583182	517,2165556
482,6583061	650,5027872	758,0159545	840,5192222
608,3701633	869,1573191	1021,358818	1243,989111
728,8782857	1087,948043	1218,420364	1595,628222

Tabla 13: Consumos eléctricos totales de cada tipología de vivienda según la potencia de la bomba de calor instalada

Por otra parte, en las tablas posteriores se engloba la totalidad de las posibles producciones energéticas resultado de las combinaciones de todas las irradiancias propuestas según la orientación de los módulos y todas las tipologías de sistemas fotovoltaicos HelioPV estudiadas a lo largo del proyecto.

PRODUCCIÓN

	<i>E_{GEN} para H (α=0°,β=35°)</i>				
Mes	HelioPV 1.5 (kWh)	HelioPV 2.0 (kWh)	HelioPV 2.5 (kWh)	HelioPV 3.0 (kWh)	HelioPV 4.0 (kWh)
Enero	139,4412897	185,9217196	232,4021495	278,8825794	342,095964
Febrero	170,0169621	226,6892828	283,3616035	340,0339242	417,1082804
Marzo	209,4200586	279,2267448	349,0334309	418,8401171	513,7772104
Abril	214,2531434	285,6708579	357,0885723	428,5062868	525,6343785
Mayo	228,8119836	305,0826449	381,3533061	457,6239673	561,3520665
Junio	229,6420256	306,1893675	382,7367094	459,2840513	563,3884362
Julio	251,9638766	335,9518355	419,9397944	503,9277533	618,1513774
Agosto	243,7973913	325,0631884	406,3289855	487,5947826	598,1162666
Septiembre	211,752084	282,336112	352,9201401	423,5041681	519,4984462
Octubre	187,4635698	249,9514264	312,439283	374,9271396	459,9106246
Noviembre	140,9732718	187,9643624	234,955453	281,9465436	345,8544268
Diciembre	127,491054	169,988072	212,48509	254,982108	312,7780525
	<i>E_{GEN} para H (α=15°,β=35°)</i>				
Mes	HelioPV 1.5 (kWh)	HelioPV 2.0 (kWh)	HelioPV 2.5 (kWh)	HelioPV 3.0 (kWh)	HelioPV 4.0 (kWh)
Enero	136,9883645	182,6511526	228,3139408	273,9767289	336,0781208
Febrero	167,5566735	223,4088979	279,2611224	335,1133469	411,0723722
Marzo	207,013749	276,0183319	345,0229149	414,0274979	507,8737308
Abril	213,3452424	284,4603232	355,575404	426,6904848	523,4069947
Mayo	229,0942585	305,4590113	381,8237641	458,188517	562,0445808
Junio	229,4431918	305,9242557	382,4053197	458,8863836	562,9006306
Julio	252,5662418	336,7549891	420,9437364	505,1324836	619,6291799
Agosto	243,91665	325,2222	406,52775	487,8333	598,408848
Septiembre	210,8226674	281,0968899	351,3711124	421,6453349	517,2182774
Octubre	185,6790911	247,5721215	309,4651519	371,3581822	455,5327035
Noviembre	138,7684708	185,0246277	231,2807846	277,5369416	340,445315
Diciembre	124,9032282	166,5376375	208,1720469	249,8064563	306,4292531
	<i>E_{GEN} para H (α=30°,β=35°)</i>				
Mes	HelioPV 1.5 (kWh)	HelioPV 2.0 (kWh)	HelioPV 2.5 (kWh)	HelioPV 3.0 (kWh)	HelioPV 4.0 (kWh)
Enero	129,9049172	173,2065562	216,5081953	259,8098343	318,7000634
Febrero	160,2370087	213,6493449	267,0616812	320,4740174	393,1147947
Marzo	200,766827	267,6891026	334,6113783	401,5336539	492,5479488
Abril	209,8285626	279,7714168	349,714271	419,6571252	514,7794069
Mayo	228,270016	304,3600213	380,4500266	456,5400319	560,0224391
Junio	228,460069	304,6134253	380,7667816	456,920138	560,4887026
Julio	251,5696013	335,426135	419,2826688	503,1392025	617,1840884
Agosto	241,1086488	321,4781983	401,8477479	482,2172975	591,519885
Septiembre	205,9211013	274,5614684	343,2018354	411,8422025	505,1931018
Octubre	178,9493904	238,5991872	298,248984	357,8987808	439,0225044
Noviembre	132,1175241	176,1566987	220,1958734	264,2350481	324,1283257
Diciembre	117,9398513	157,2531351	196,5664189	235,8797026	289,3457685
	<i>E_{GEN} para H (α=60°,β=35°)</i>				
Mes	HelioPV 1.5 (kWh)	HelioPV 2.0 (kWh)	HelioPV 2.5 (kWh)	HelioPV 3.0 (kWh)	HelioPV 4.0 (kWh)
Enero	105,7385978	140,9847971	176,2309963	211,4771956	259,4120266
Febrero	135,168993	180,225324	225,281655	270,337986	331,6145961
Marzo	179,7501425	239,6668567	299,5835709	359,5002851	440,9870163
Abril	197,9568951	263,9425268	329,9281585	395,9137902	485,6542493
Mayo	223,6519996	298,2026661	372,7533327	447,3039992	548,6929057
Junio	225,4554689	300,6072919	375,7591148	450,9109378	553,117417
Julio	247,703512	330,2713494	412,8391867	495,4070241	607,6992829
Agosto	230,7114549	307,6152732	384,5190915	461,4229098	566,0121027
Septiembre	188,5609268	251,414569	314,2682113	377,1218535	462,602807
Octubre	155,5179021	207,3572028	259,1965034	311,0358041	381,5372531
Noviembre	108,973204	145,2976053	181,6220066	217,9464079	267,3475937
Diciembre	94,31187601	125,749168	157,18646	188,623752	231,3784691
	<i>E_{GEN} para H (α=90°,β=35°)</i>				
Mes	HelioPV 1.5 (kWh)	HelioPV 2.0 (kWh)	HelioPV 2.5 (kWh)	HelioPV 3.0 (kWh)	HelioPV 4.0 (kWh)
Enero	75,86547281	101,1539637	126,4424547	151,7309456	186,1232933
Febrero	103,5034868	138,0046491	172,5058113	207,0069736	253,9285543
Marzo	151,0640871	201,4187828	251,7734785	302,1281742	370,6105603
Abril	179,465595	239,28746	299,109325	358,93119	440,2889264
Mayo	211,8416204	282,4554939	353,0693673	423,6832408	519,7181087
Junio	216,6736415	288,8981886	361,1227358	433,347283	531,5726671
Julio	235,7547774	314,3397032	392,924629	471,5095548	578,3850539
Agosto	211,8468905	282,4625206	353,0781508	423,6937809	519,7310379
Septiembre	163,1236793	217,4982391	271,8727989	326,2473587	400,1967599
Octubre	124,3303462	165,7737949	207,2172436	248,6606924	305,0237826
Noviembre	80,28642827	107,048571	133,8107138	160,5728565	196,9693707
Diciembre	65,89579778	87,86106371	109,8263296	131,7915956	161,6643572

Tabla 14: Producciones energéticas en función del ángulo azimutal de la irradiancia y la potencia pico del sistema HelioPV escogido

Finalmente, representando producciones fotovoltaicas frente a consumos eléctricos, se obtendrán gráficas como la que se observa a continuación. En este caso, se ha escogido la producción energética de los cinco sistemas HelioPV propuestos para una orientación de los módulos de 15º respecto del sur. En cuanto a la curva de consumo, se ha elegido la tipología de vivienda con bomba de calor de 8 kW.

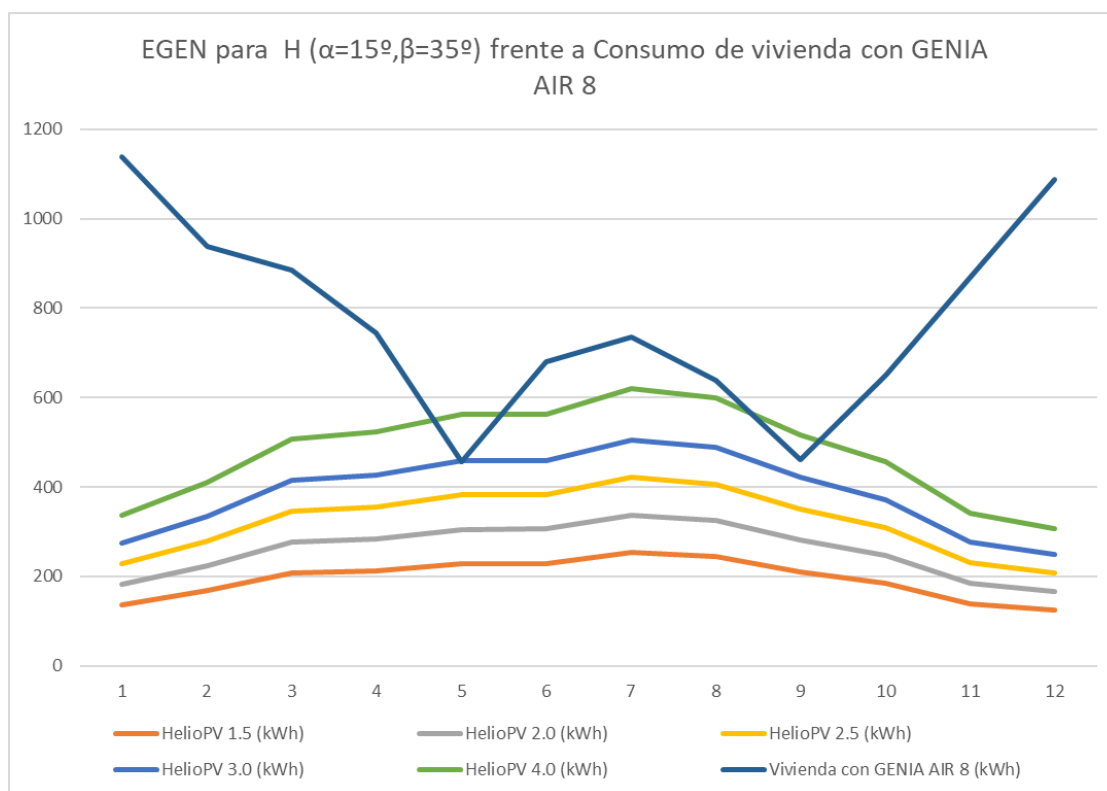


Figura 49: Curvas de producción energética de los sistemas HelioPV para una orientación de 15º frente a curva de consumo de una vivienda con GENIA AIR de 8 kW

Analizando la gráfica, se puede observar que las producciones eléctricas de los sistemas HelioPV 1.5, 2 y 2.5 son insuficientes a la hora de afrontar la demanda energética anual de la tipología de vivienda elegida. Sin embargo, los dos sistemas más potentes de la gama, HelioPV 3.0 y 4.0, generan unas curvas de producción fotovoltaica más parejas a la curva de consumo eléctrico del domicilio.

Haciendo un balance, la elección del sistema 4.0 supondrá un mayor porcentaje de autoconsumo durante la mayor parte del año, no obstante, en los periodos de entretiempo, cuando la bomba no se enfrente a saltos térmicos tan elevados, se producirá una energía excedentaria que, a pesar de que una parte pueda ser utilizada mediante las técnicas ya comentadas anteriormente, la gran mayoría deberá ser vertida a la red eléctrica ocasionando pérdidas de rentabilidad. En el caso contrario, al elegir el HelioPV 3.0, el porcentaje de autoconsumo será menor durante todo el año, pero, al llegar los meses de entretiempo, la producción fotovoltaica de la instalación estará en sintonía con el consumo eléctrico de la vivienda.

Siguiendo este razonamiento, se realizará una comparación entre las curvas de producción fotovoltaica de todas las tipologías de sistema HelioPV (1.5, 2.0, 2.5, 3.0 y 4.0) para cada una de las orientaciones propuestas ($\alpha=0^\circ$, 15° , 30° , 60° y 90° ; $\beta=35^\circ$) frente a cada una de las curvas de consumo eléctrico estimadas de los diferentes arquetipos de vivienda unifamiliar establecidos según su sistema de aerotermia (GENIA AIR 5, 8, 11 y 15). Para cada combinación de los factores comentados, se obtendrá una gráfica distinta (en total 20 gráficas) que deberá ser analizada con el objetivo de seleccionar el sistema fotovoltaico HelioPV óptimo para cubrir la mayor parte del consumo eléctrico a la vez que para minimizar la producción de energía excedentaria que deberá ser vendida a la red. Finalmente, se agruparán los sistemas fotovoltaicos HelioPV elegidos óptimos para cada situación y se representarán en una tabla, lo que dará lugar al cumplimiento del objetivo establecido al comienzo del proyecto.

	Vivienda con GENIA AIR 5 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 8 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 11 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 15 (kWh)
H ($\alpha=0^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=15^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=30^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=60^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=90^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0

Tabla 15: Sistemas fotovoltaicos HelioPV óptimos para cada combinación de irradiancia y tipología de vivienda

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1 Resumen del trabajo realizado

A lo largo del proyecto, se han tratado numerosos temas y se han realizado multitud de suposiciones, cálculos y representaciones gráficas. Con el objetivo de facilitar su comprensión y lectura, en este apartado se recopilará de forma condensada la investigación que se ha llevado a cabo desde el inicio del proyecto hasta su final.

El primer paso referente a la elaboración de este proyecto consistió en analizar una problemática, frente a la cual, la empresa colaboradora del proyecto exigía desarrollar una solución. Esta problemática se fundamentaba en la incapacidad de la entidad para ofrecer una propuesta competente a un cliente que deseara instalar un sistema de generación fotovoltaica en una vivienda que dispusiese de climatización y ACS mediante aerotermia. La resolución de este dilema requería un análisis técnico sobre la instalación óptima a implementar según el tipo de sistema de aerotermia utilizado en el domicilio en cuestión. Cabe destacar que, normalmente, si se quiere realizar un dimensionamiento preciso de un sistema fotovoltaico para el sector residencial, lo más lógico es estudiar los consumos eléctricos de la vivienda y dimensionar la instalación en torno a ellos. Sin embargo, en este caso, muchos de los potenciales clientes que podrían acudir a la empresa, dispondrían de viviendas de nueva construcción las cuales, al no haber sido habitadas, no tendrían un registro del consumo eléctrico. Como consecuencia, surgió la principal dificultad referente a la elaboración del proyecto. Como se verá en párrafos posteriores, este obstáculo se resolvió mediante el uso de estimaciones y suposiciones, sobre todo, en cuanto al consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar tipo con un sistema de aerotermia.

Una vez establecido el objetivo, se requería el estudio necesario con tal de obtener el conocimiento teórico conveniente para poder realizar todos los cálculos y análisis necesarios. Este estudio englobó una documentación y lectura de diverso material relacionado con la aerotermia y otras ramas de la ingeniería térmica, así como con la energía solar fotovoltaica. Todo este marco teórico se sintetizó y se añadió al proyecto en forma de anexo con el propósito de facilitar al lector el aprendizaje de las ideas teóricas necesarias para comprender el trabajo, en caso de que no las tuviera. Dentro de este estudio, se quiso hacer una especial mención a un método para dimensionar un sistema aerotérmico de climatización para una edificación, residencial o no. A pesar de que el objetivo del proyecto era puramente solar, se creyó importante entender y transmitir cómo se debería calcular la potencia óptima de calefacción/refrigeración para una vivienda y, en consecuencia, que tipología de bomba de calor se debería seleccionar. Mediante la aparición de un cálculo de cargas térmicas en el proyecto, se aseguró que el documento sería capaz de abarcar los métodos necesarios para calcular por completo un sistema híbrido aerotérmico-fotovoltaico; primero mediante el cálculo de cargas térmicas mencionado y posteriormente mediante los análisis de producción y consumo fotovoltaico que se comentarán a continuación.

Con los conocimientos teóricos ya en la cabeza, el siguiente paso era decidir qué tipología de instalación fotovoltaica sería óptima para una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia. Como respuesta a esta elección, surgió una alternativa similar al sistema fotovoltaico conectado a red con baterías de apoyo que, en el proyecto, se denominó como sistema fotovoltaico con almacenaje térmico. Esta tipología se basaba en el uso del agua como método de almacenaje de la energía producida por el sistema generador en régimen de trabajo excedentario. Este agua, contenida en los depósitos de inercia y ACS, actuaría como una batería elevando la inercia térmica de la vivienda y evitando los costes necesarios referidos a la instalación real de baterías eléctricas en la vivienda. No obstante, para obtener la correcta comunicación necesaria en este prototipo de sistema entre la bomba de calor y el inversor, surgió la necesidad de encontrar un dispositivo que cumpliera esta función exacta. Como solución, se utilizó el elemento PV-Ready y por consiguiente, el sistema fotovoltaico HelioPV del cual formaba parte, ya que, además de satisfacer este cometido, pertenecía a la marca SAUNIER-DUVAL, principal fabricante con el que trabajaba la entidad colaboradora del proyecto.

El último paso, y el más importante, consistió en elaborar los análisis pertinentes con tal de encontrar el sistema fotovoltaico ideal (en términos de potencia) para cada tipología de vivienda unifamiliar a estudiar. El primero de ellos se basó en el estudio de la energía que incidiría en los paneles solares, es decir, de la irradiancia en la zona de estudio, Zaragoza. Posteriormente, se calculó un performance ratio aproximado de la instalación lo que finalmente dio lugar a una producción anual estimada en función del sistema fotovoltaico a tratar y de la orientación de la irradiancia percibida. De forma paralela, se realizó una estimación de los posibles consumos eléctricos que podría tener una vivienda unifamiliar tipo en función de la potencia de la bomba de calor que tenía instalada. Para finalizar el proyecto, se compararon los distintos análisis de producción energética de cada sistema propuesto con los diferentes consumos estimados dando lugar a una tabla que mostraba el sistema de generación fotovoltaica óptimo para cada casuística.

5.2 Resultados obtenidos

Al coexistir dos objetivos principales en este proyecto (desarrollo de un modelo de sistema fotovoltaico óptimo para viviendas con aerotermia y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica ideal para una vivienda unifamiliar tipo), será lógico presentar dos resultados respectivos, cada uno, a un objetivo.

En primer lugar, partiendo de la búsqueda de un modelo de sistema fotovoltaico óptimo para implementar en viviendas con sistemas de climatización de aerotermia, se ha conseguido desarrollar y exponer de forma superficial un prototipo de instalación que cumple con esta característica. El modelo en cuestión se trata de un sistema híbrido fotovoltaico-aerotérmico que utiliza el agua como método de almacenaje térmico, en lugar de baterías eléctricas. El funcionamiento de esta tipología de sistema consiste en que, en los momentos del día en los que el sistema de generación fotovoltaica produce más energía que la consumida por la vivienda, un gestor de energía inteligente (PV-Ready) modula la corriente producida derivándola a la bomba de calor o a las resistencias de apoyo de los depósitos de inercia y ACS. De esta forma y según una lista de prioridades concreta, se eleva la temperatura del agua de estos depósitos o del sistema de suelo radiante de la vivienda permitiendo un almacenaje de energía que conllevará un aumento de la autosuficiencia energética de la vivienda y por consiguiente, un mayor ahorro.

Por otro lado, el otro objetivo del proyecto ha consistido en elaborar un método mediante el cual dimensionar un sistema fotovoltaico óptimo para una vivienda unifamiliar con sistema de aerotermia. A partir de diversos análisis comentados en el apartado anterior (consumos, irradiancias, producción fotovoltaica, etc.) se ha llegado a la obtención de una tabla la cual relaciona las distintas tipologías de vivienda unifamiliar propuestas según la potencia de sus sistema aerotérmico instalado con diversas orientaciones de los módulos fotovoltaicos a implementar (o ángulo azimutal de la irradiancia, es lo mismo). El resultado principal del proyecto se fundamenta en la obtención de un sistema fotovoltaico óptimo (entre los “HelioPV” elegidos) para cada combinación de orientación de panel/tejado y tipología de vivienda. Estas combinaciones se reflejan en la tabla mencionada.

Mediante esta tabla, la entidad colaboradora del proyecto estará capacitada para ofertar una opción de sistema fotovoltaico lo más competente posible en cuanto a relación precio-producción excedentaria, siendo este último parámetro el que se ha de minimizar.

	Vivienda con GENIA AIR 5 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 8 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 11 (kWh)	Vivienda con GENIA AIR 15 (kWh)
H ($\alpha=0^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=15^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=30^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 2.5	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=60^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0
H ($\alpha=90^\circ, \beta=35^\circ$)	Helio PV 3.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0	Helio PV 4.0

Tabla 15: Sistemas fotovoltaicos HelioPV óptimos para cada combinación de irradiancia y tipología de vivienda

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Código Técnico de la Edificación (CTE)
- [2] Código Técnico de Edificación – Documento básico DB-HE
- [3] Bombas de calor con compresor accionado eléctricamente. Ensayos y requisitos para el marcado de equipos para agua caliente sanitaria - EN 16147
- [4] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)
- [5] Real Decreto 244/2019
- [6] Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA)
- [7] <https://www.ree.es/es>
- [8] <https://www.saunierduval.es/downloads/genia-hybrid/catalogo-sistemas-genia-1276400.pdf>
- [9] International Finance Corporation, Utility Scale Solar Power Plant; 24-28, 2012
- [10] <https://www.saunierduval.es/para-el-profesional/servicios/calculadora-para-aeroterminia-y-sistemas-hibridos/>
- [11] <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [12] Pliego de Instalaciones Técnicas Conectadas a Red del “IDAE”
- [13] Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050 – IRENA
- [14] A fondo: Las energías renovables en Europa, 18/03/2020 – Web oficial de la UE
- [15] <https://europa.eu/>
- [16] Share of energy from renewable sources, 2018 - EuroStat
- [17] Informe de energías renovables - 2019 - “Red Eléctrica de España”
- [18] Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020
- [19] https://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/aragon-campeon-renovables-2019-casi-1-800-megavatios-mas_1406444.html
- [20] Global Energy Review 2020 - IEA
- [21] Madonna F., Bazzocchi F. Annual performances of reversible air-to-water heat pumps in small residential buildings. Energy and Buildings, 2013, 65: 299-309.
- [22] Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Energías Renovables 2011-2020
- [23] Reglamento Delegado 626/2011
- [24] https://www.toshiba-aire.es/toshiba-blog/post/aeroterminia-calefaccion-es-25-mas-barata-que-gas.html?page_type=post
- [25] <https://www.saunierduval.es/sobre-saunier-duval/sobre-nosotros/>

[26] <http://ifc-builder.cype.es/>

[27] <http://cypetherm-loads.cype.es/>

[28] Load Calculation Applications Manual, 2010 - ASHRAE

[29] Canal de YouTube – Autoconsumo Solar Fácil

[30] Sistemas fotovoltaicos, 2009 – Ángel Antonio Bayod Rújula

Anexo I

CONTEXTO ENERGÉTICO

A lo largo de las últimas décadas, la brecha existente entre los objetivos marcados en la lucha contra el cambio climático y la realidad a nivel internacional ha sido desesperadamente abismal. Continuando con este nefasto panorama energético, 2020 no está siendo una excepción en cuanto a concienciación internacional sobre la necesidad de alcanzar unos objetivos climáticos positivos. A pesar de que los efectos perjudiciales provocados por el cambio climático son cada vez más visibles, las emisiones de dióxido de carbono no han hecho más que aumentar a razón de un 1% anual en el planeta en esta última década. A día de hoy, existe una gran diferencia entre los esfuerzos que realizan nuestros países para paliar este problema, habiendo algunos comprometidos con lograr emisiones muy bajas o nulas y otros, que, al no haber entendido la necesidad de transición energética, siguen careciendo de objetivos climáticos.

Existen varios escenarios energéticos creados por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) en su publicación más actual [13] cuyo objetivo es reflejar las posibles evoluciones de las emisiones de CO₂, demanda energética y uso de combustibles fósiles a nivel mundial. El planteamiento se basa en la presentación de un escenario hacia donde la sociedad se dirige (Planned Energy Scenario) en base a estudios de previsión energética y la comparación de éste con otro escenario (Transforming Energy Scenario) alcanzable mediante la implementación de cambios estructurales que lograrían un desarrollo energético y económico sostenible. Como podemos observar en la Figura 1 [13], existe una diferencia substancial entre los escenarios energéticos planeado (PES) y de transformación (TES) que incita a concienciar a los países sobre las dos posibles realidades en las que podemos vivir en tan sólo unas décadas.

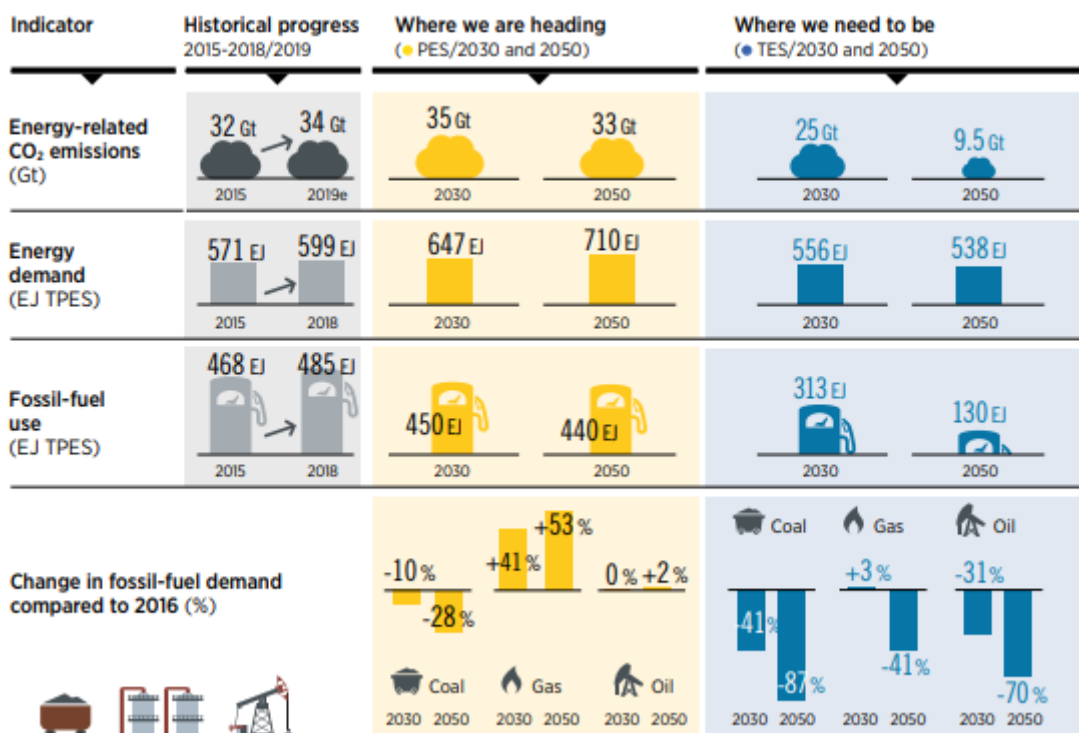


Figura 1: Escenarios energéticos planeado y de transformación (PES y TES)

Pese a estos datos tan pesimistas, el sector energético global presenta signos de que está empezando a cambiar de forma prometedora gracias al aumento generalizado del uso de la energía renovable. Tanto es así que en 2019 se alcanzó un hito nunca visto cuando la generación de electricidad a partir de energía renovable aumentó más que la demanda eléctrica global, mientras que la energía generada a partir de la combustión de combustibles fósiles disminuyó.

Uno de los sectores en el cual se puede observar este cambio energético tan positivo es el de la automoción. La electrificación de los vehículos ha cambiado por completo la industria del automóvil obligando a las empresas del sector a adaptarse a la nueva era de los coches híbridos y enchufables. Los gobiernos cada vez son más restrictivos con las emisiones de CO₂ de los vehículos lo cual ha obligado a la industria a reinventarse e invertir por la tecnología del futuro, la movilidad eléctrica. El sector de la automoción no ha sido el único en experimentar un cambio, los sectores de energía solar fotovoltaica y eólica han experimentado unas reducciones de costes y un aumento de tecnologías que permiten mayores eficiencias a menor precio. No obstante, a pesar de estos cambios tan positivos, las energías renovables están creciendo de forma muy paulatina en otros sectores como el doméstico o el industrial. Por ello, uno de los objetivos más importantes en cuanto a la transición energética consistirá en fomentar el crecimiento de la energía renovable en estos sectores durante los próximos años.

Junto al impulso de las energías renovables, surge otra solución conjunta con el mismo objetivo medioambiental, la mejora de la eficiencia energética, concepto que lleva varios años tomando cada vez más importancia en el mundo. La creciente mejora en la tecnología industrial ha conllevado que cada vez las máquinas se construyen maximizando los rendimientos y minimizando las pérdidas todo lo posible mejorando así las eficiencias energéticas. Esta mejora de eficiencias representa una disminución enorme en el gasto energético global, la cual supone un aspecto muy positivo en cuanto a la transición energética que necesita el planeta. En la Figura 2 [13] podemos observar cómo las dos soluciones más eficaces propuestas por la IRENA, aumento de la producción de energías renovables y mejora de eficiencias energéticas, están mejorando de forma exponencial.

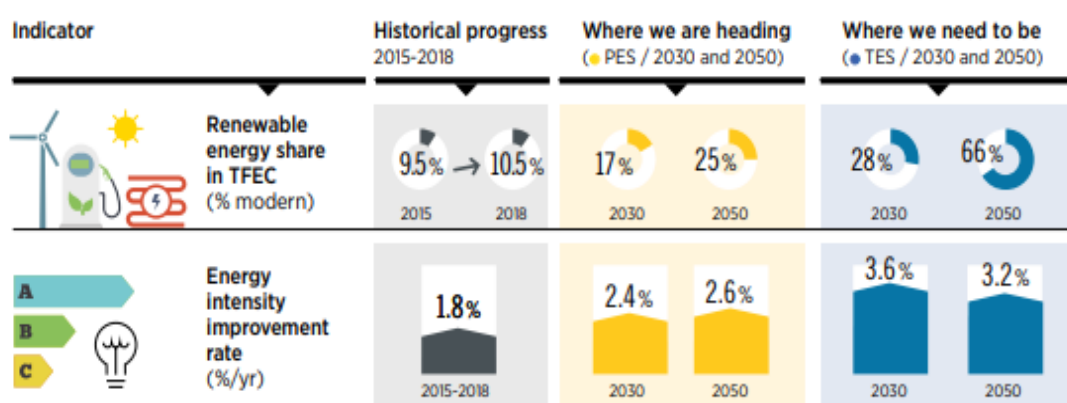


Figura 2: Principales soluciones para la transición energética global

Refiriéndonos ahora al sector doméstico, la aplicación de estas dos soluciones puede tener un impacto directo muy positivo en los objetivos climáticos de un país. Por una parte, el aumento de la producción de energías renovables se puede aplicar mediante la producción de energía solar fotovoltaica en viviendas individuales o colectivas. Mediante paneles solares fotovoltaicos, una vivienda puede producir su propia energía eléctrica disminuyendo la cantidad de electricidad que consumirá de la red, favoreciendo el desuso de energía no renovable y obteniendo además una reducción substancial en la factura mensual de luz. De la misma forma, también se pueden aplicar las dos soluciones vistas en el ámbito de la climatización doméstica mediante la sustitución de sistemas de calefacción basados en combustibles fósiles por sistemas de aerotermia. Los sistemas de aerotermia son equipos que aprovechan la energía térmica del ambiente para calentar o refrigerar una edificación. Al utilizar energía proveniente del sol, se consideran una tecnología renovable y, además, estos sistemas están basados en bombas de calor las cuales permiten eficiencias muchísimo más altas que cualquier otro equipo favoreciendo así la imperiosa necesidad de mejorar la eficiencia energética global comentada anteriormente. La Figura 3 [13] nos muestra varias medidas que favorecerán la transición energética, entre ellas podemos distinguir el aumento del uso de energía solar fotovoltaica y el aumento del uso de bombas de calor, temas protagonistas en este proyecto académico.

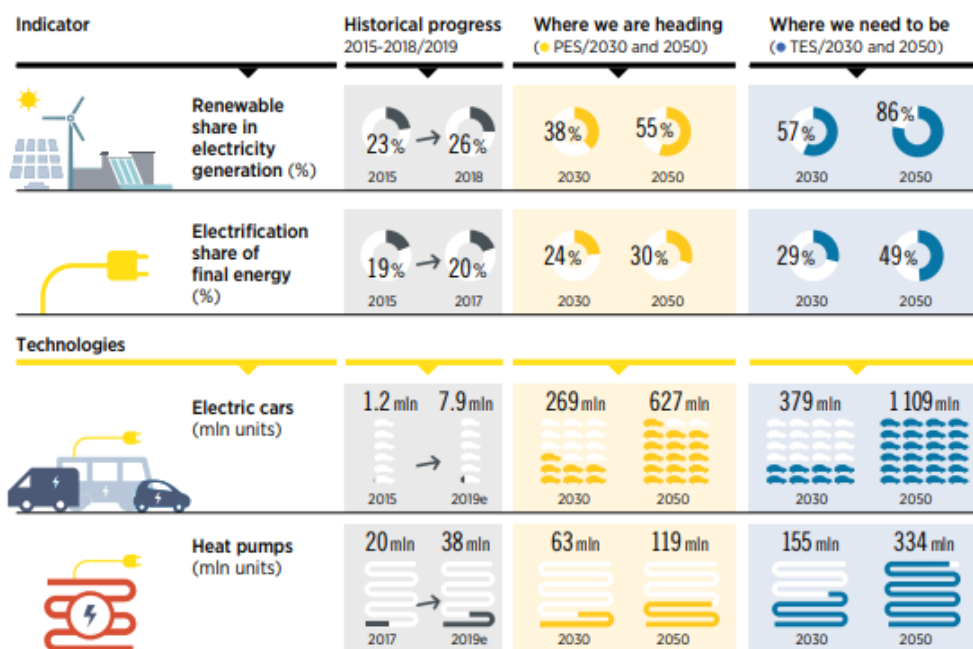


Figura 3: Medidas para favorecer la electrificación global

I.1 En Europa

A día de hoy, Europa es el continente líder en energías renovables gracias a unas políticas ambiciosas, proyectos de innovación y sustanciales inversiones en la investigación y el desarrollo de este tipo de tecnologías limpias. El año pasado, la producción de energía eólica y solar de la Unión Europea superó por primera vez a la del carbón lo cual supuso el cumplimiento de un importante objetivo climático que se elaboró por un comité europeo hace varios años. Además de este hito, a lo largo del último siglo se han ido alcanzando metas cada vez más ambiciosas que no han hecho más que motivar a la ciudadanía europea a fomentar el impulso de las energías renovables. En el año 2000, Europa logró representar más del 70% del total de la energía eólica mundial y el 20% de las instalaciones solares fotovoltaicas. 8 años más tarde, en 2008, pasó a ser el mayor mercado mundial de energía solar fotovoltaica con más del 70% de la producción global [14]. A medida que el resto del mundo ha ido aumentando la producción y utilización, subiéndose al tren de las energías renovables, Europa ha mantenido su liderazgo.

En la Figura 4 [14] podemos observar algunos de los logros renovables que se han cumplido a lo largo de los últimos años en Europa. Con vistas al futuro, la Unión Europea ha fijado unos objetivos de clima y energía para 2020, 2030 y 2050 que aparecen reflejados en su página web oficial [15]:

Objetivos para 2020

- ❖ Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20%, como mínimo, respecto a los niveles de 1990.
- ❖ Obtener un 20% de la energía a partir de energías renovables.
- ❖ Mejorar la eficiencia energética en un 20%.

Objetivos para 2030

- ❖ 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- ❖ Al menos 27% de energía renovables.
- ❖ 15% de interconexión eléctrica (es decir, el 15% de la electricidad generada en la UE debe poder transportarse a otros Estados miembros)

Objetivos para 2050

- ❖ 80-95% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990.

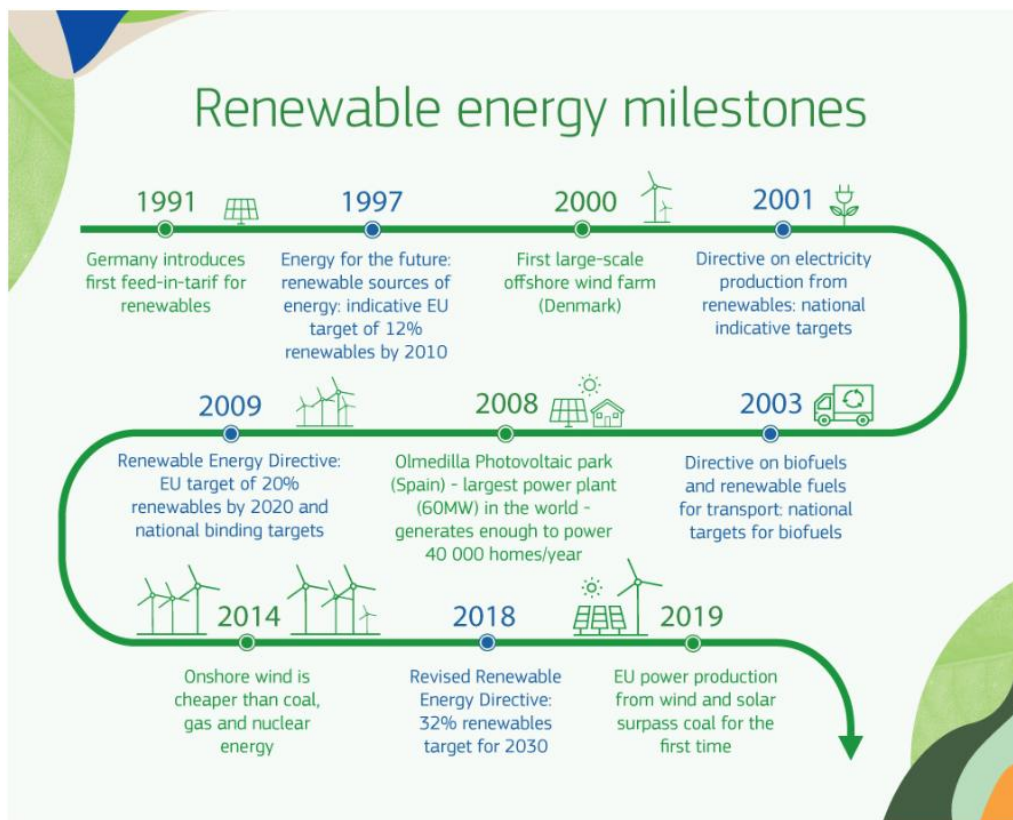


Figura 4: Objetivos de la Unión Europea en cuanto a energías renovables

Por último, se quiere mencionar que, en los últimos años, la cuota de las energías renovables en el consumo final bruto ha aumentado en toda la Unión Europea: del 9,6% en 2004 al 18,9% en 2018. Según los datos de Eurostat para 2018 [16], los cinco países miembros con la mayor cuota energética procedente de fuentes renovables son Suecia, Finlandia, Letonia, Dinamarca y Austria. En el caso de nuestro país, a pesar de disponer de unas irradiancias solares mucho mayores que el resto de Europa, nos situamos en el puesto número 15 de la lista lo cual nos indica que es necesaria una inversión substancial de capital en el sector renovable para escalar posiciones y liderar la transición energética en nuestro continente.

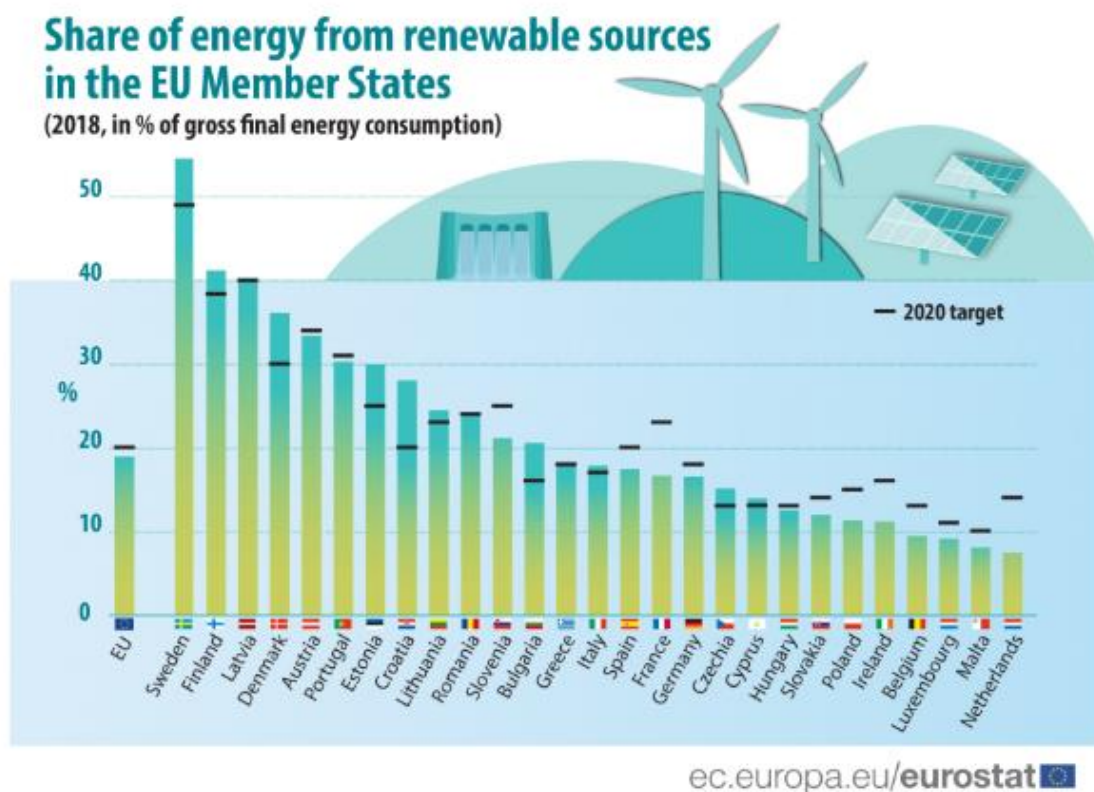


Figura 5: Porcentajes de energía renovables en los países de la Unión Europea

I.II En España

Las fuentes de energía renovables presentes en el planeta Tierra son hasta siete, sin embargo, dependiendo de la zona climática y geográfica en la que nos situemos, no todas se pueden aprovechar de la misma manera. Históricamente, en nuestro país, las energías renovables más importantes han sido la hidráulica, eólica y solar. El informe de energías renovables del año pasado expedido por “Red Eléctrica de España” [17] cuantifica que el 9,5% de la energía eléctrica producida en España tiene su origen en la energía hidráulica. Este tipo de energía se obtiene a partir de la transformación de la energía cinética del agua en ríos y saltos de agua en energía eléctrica. Aunque la producción de energía es limpia y autóctona, hay desventajas importantes como, por ejemplo, la gran inversión inicial requerida para la construcción de una central hidroeléctrica o la posibilidad de una sequía, las cuales han conllevado una disminución paulatina en los últimos años de este tipo de energía.

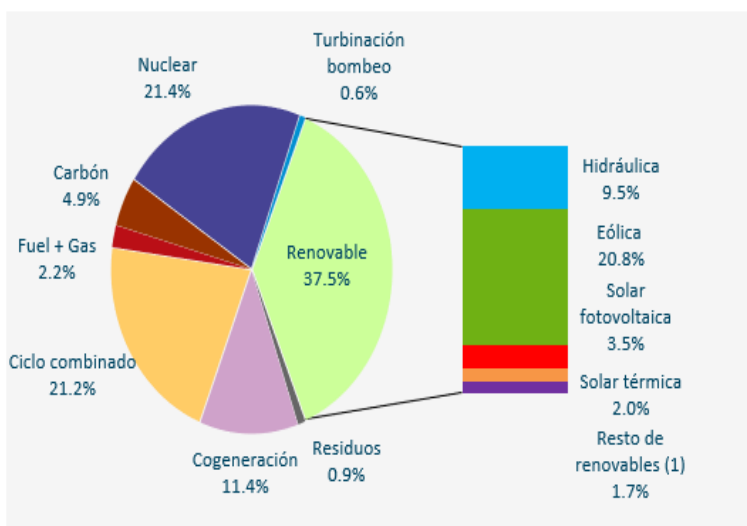
Por otra parte, la generación de energía eólica en España está capacitada para cubrir el 20,8% [17] del total de demanda eléctrica anual del país. Este dato implica que nuestro país es el quinto país en cuanto a capacidad de energía eólica se refiere, por detrás de China, Estados Unidos, Alemania e India. Este tipo de energía aprovecha la energía cinética de las corrientes de aire para mover unas enormes turbinas eólicas capaces de convertirla en energía eléctrica. En nuestro país, la energía eólica es una renovable muy importante ya que su producción no tiene apenas coste más que el de instalar parques eólicos.

Finalmente, refiriéndonos a la energía solar, ésta es una de las asignaturas pendientes de nuestro país en materia de energías renovables ya que, aunque España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol durante todo el año, la demanda total de energía eléctrica del país satisfecha mediante energía solar (fotovoltaica + térmica) supone solamente un 5,5% [17]. En la Figura 6 [17] se pueden observar las distintas energías utilizadas para cubrir la demanda eléctrica anual en España.

La energía renovable en 2019

Estructura de generación de energía eléctrica en 2019.
Sistema eléctrico nacional

(%)



(1) Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeléctrica y residuos renovables.

Figura 6: Estructura de generación de energía eléctrica en 2019 [17]

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la directiva del Parlamento Europeo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, ha fijado como objetivos generales conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020. En España, el objetivo se traduce en que las fuentes renovables representen al menos el 20% del consumo de energía final en el año 2020 (mismo objetivo que para la media de la UE), junto a una contribución mínima del 10% de fuentes de energía renovables en el transporte para ese año. Objetivos que, a su vez, han quedado recogidos en la Ley 2/2011, de Economía Sostenible [18].

El primer trimestre de 2020 en España ha registrado una cuota de renovables del 44,59% sobre el total de la generación energética a nivel nacional, mientras que en el mismo periodo de 2019 fue del 38,42%. Según Red Eléctrica de España, estos permiten pronosticar que 2020 será recordado como el inicio de una nueva era renovable [7]. Durante estos primeros meses del año, ha destacado especialmente una energía renovable que no suele ser característica de este periodo. La solar fotovoltaica ha registrado un récord en la generación nacional trimestral, participando en un 4,12%, mientras que en este mismo periodo del pasado año solo fue el 2,96%. En el mes de marzo, la tecnología basada en células fotovoltaicas ha conseguido registrar la participación mensual más alta en la historia de esta tecnología superando incluso la de veranos anteriores. Si a este dato le añadimos que marzo también ha destacado por la baja participación del carbón obteniendo la segunda cifra de producción más baja de la historia del sistema eléctrico nacional, queda claro que el futuro de la energía en nuestro país estará fuertemente ligado a la fotovoltaica.

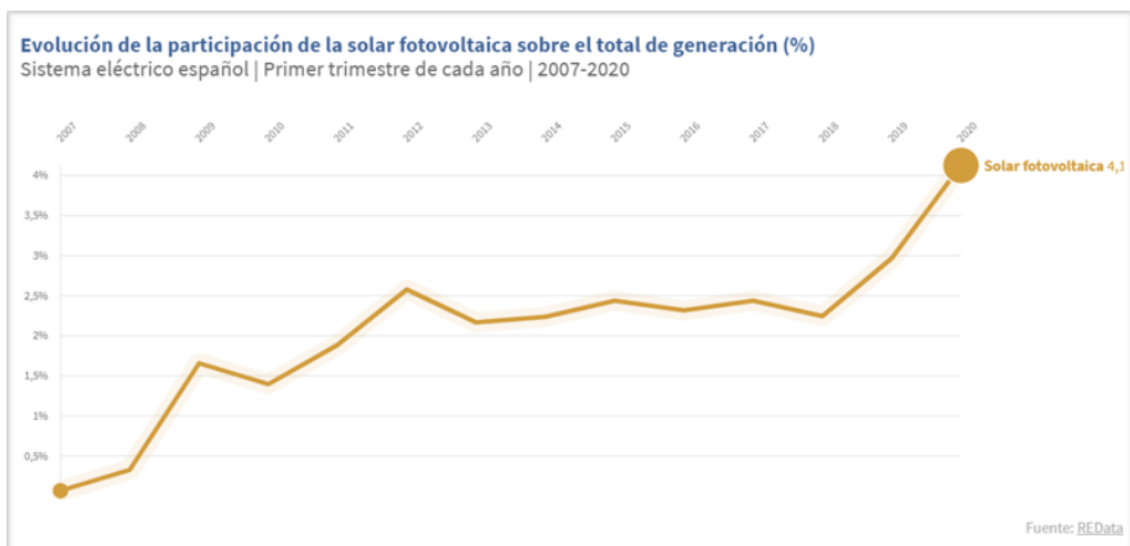


Figura 7: Evolución de la participación de la solar fotovoltaica sobre el total de generación (2007-2020)

Respecto a la aerotermia, el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 [18] cita “Igualmente, se prevé que la bomba de calor aerotérmica duplique su producción energética en 2020. Por consiguiente, las energías renovables para usos térmicos incidirán en la reducción de emisiones en los sectores difusos”.

I.III En Aragón

El año pasado, Aragón fue la comunidad autonómica española que más potencia de generación renovable utilizó en todo el país. Concretamente, se conectaron a la red 1787 MW de energías renovables, de los cuales 1022 fueron de instalaciones eólicas y 765 de placas solares fotovoltaicas. De hecho, ha supuesto casi la mitad (el 47%) de los 2153 MW de energía eólica que se han conectado en todo el país y una cuarta parte (19%) de los 3988 MW de la nueva potencia fotovoltaica que se ha instalado.

	Parques y plantas en servicio	Proyectos con autorización previa y en construcción	Proyectos en tramitación inicial
 Energía eólica	2.000	1.500	2.220
 Energía fotovoltaica	900	750	1.300

Figura 8: Proyectos en servicio, en construcción y en tramitación de centrales eólicas y fotovoltaicas en Aragón

Nuestra autonomía ha contado este año con una estructura de generación energética principalmente renovable ya que el 54,7% de la electricidad aragonesa del 2019 se generó a partir de tecnologías limpias que no emiten gases nocivos a la atmósfera. De este total, la energía eólica lideró la tabla con un 34,9% de toda la generación, seguida por la cogeneración con un 19,8%, la energía hidráulica con un 16,6%, el ciclo combinado con un 13,6% y finalmente por la solar fotovoltaica con un 2,1%.

A pesar del fuerte crecimiento experimentado, Aragón se mantiene en el quinto puesto del ranking autonómico en cuanto a capacidad de producción eléctrica a partir de fuentes renovables, aunque le pisa los talones a tres de las que tiene por delante, Andalucía (3.860 MW), Galicia (3.803) y Castilla-La Mancha (3.451), mientras que sigue a gran distancia de Castilla y León [19].

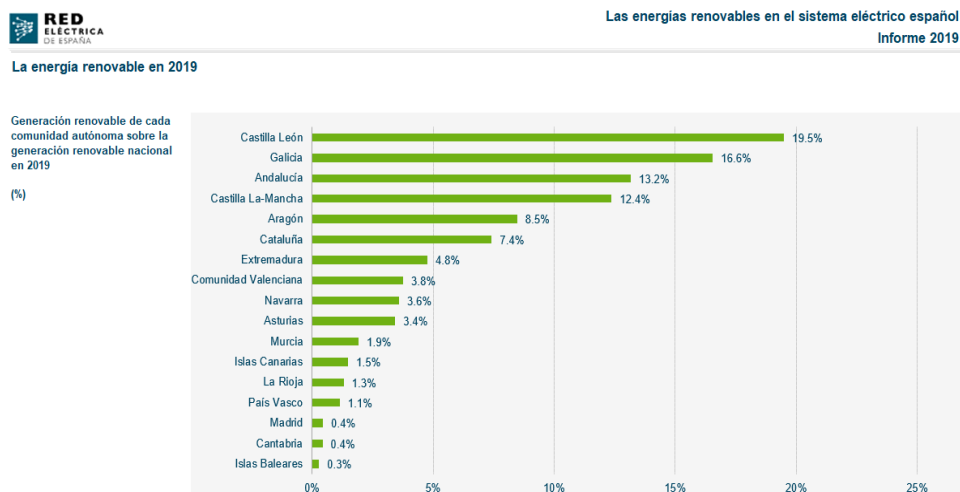


Figura 9: Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables por autonomías españolas

I.IV COVID-19

La crisis sanitaria, humanitaria, social y económica provocada por la actual pandemia COVID-19 puede ser un punto de inflexión en el futuro del panorama medioambiental de nuestro planeta. A raíz de este conflicto sanitario, la brecha ya comentada entre objetivos y realidad puede mejorar o empeorar dependiendo de cómo actúen los gobiernos en cuanto a medidas limpias y estímulos económicos.

Según el último informe [20] presentado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la demanda energética global caerá un 6% a lo largo del 2020 experimentando unos mayores descensos en las economías más avanzadas, un 11% en la Unión Europea y un 9% en Estados Unidos. Las conclusiones de la IEA en base a datos y estimaciones sugieren que cada mes de confinamiento reduce la demanda anual de energía global en aproximadamente un 1,5%. No obstante, estas caídas históricas dependerán en gran medida de la duración y la rigurosidad de las medidas que se lleven a cabo para frenar la propagación del virus.

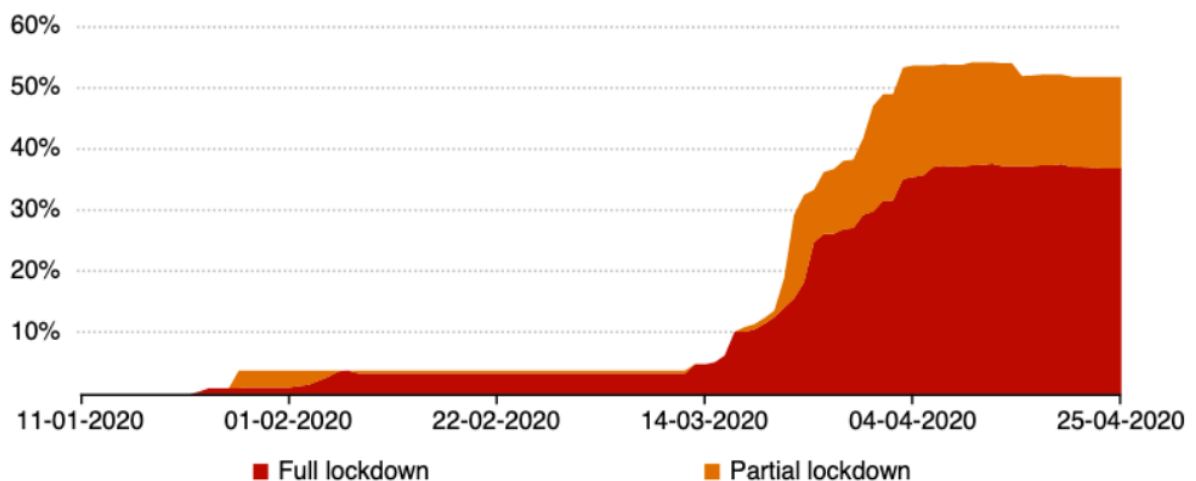


Figura 10: Porcentaje de la energía global afectada por los confinamientos total y parcial

A continuación, en la Figura 11 [20], podemos observar cómo ha variado la demanda energética global desde 1900 hasta la actualidad. El descenso de la demanda provocado por la crisis sanitaria se prevé que sea el mayor en 70 años y siete veces mayor que el provocado por la crisis financiera de 2008. Por otro lado, la Figura 12 [20] nos muestra una caída en las emisiones de CO₂ de un 8% aproximadamente en 2020. Aunque este dato posiciona a las emisiones de gases de efecto invernadero globales en un mínimo esperanzador, la experiencia sugiere un posible rebote posterior a la pandemia.

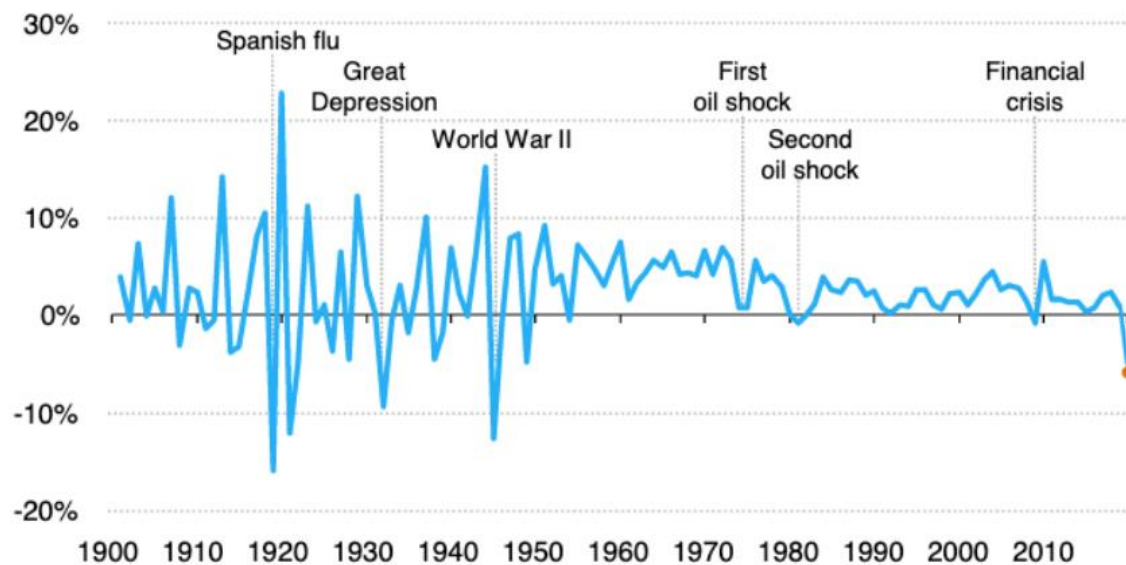


Figura 11: Evolución de la demanda energética global de 1900 a 2020

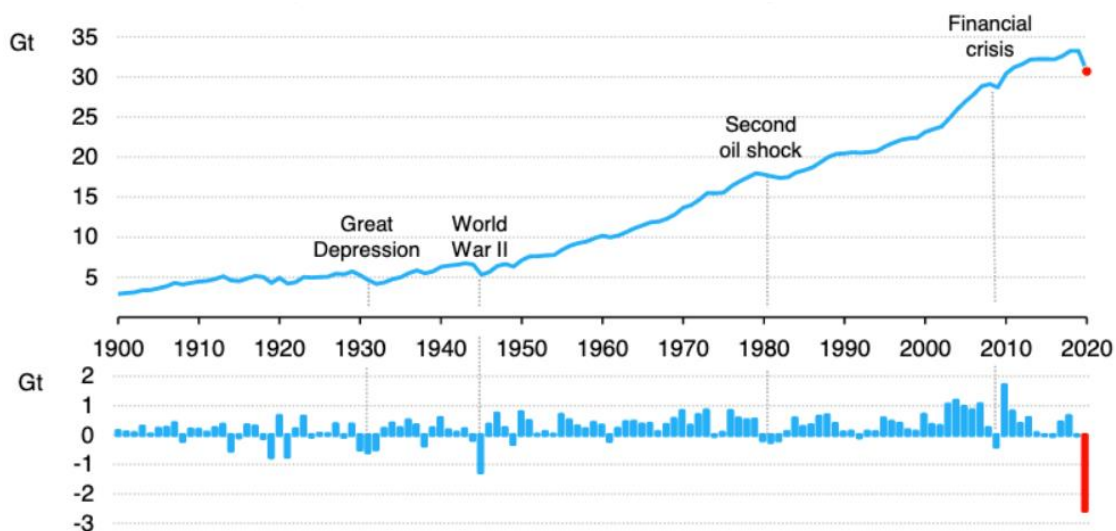


Figura 12: Evolución de las emisiones globales de CO2 de 1900 a 2020

A pesar de que todas las previsiones que estamos comentando tienen cierto margen de incertidumbre el cual depende del futuro desconocido que nos depara la crisis sanitaria, lo que es una realidad es que la reciente caída de los mercados de combustibles fósiles representa una oportunidad de inversión muy interesante en energías renovables. Además, la reducción paulatina de costes de producción de energías renovables junto con la mejora de la tecnología utilizada con este fin, las economías de escala y la ya existente competitividad empresarial no ha hecho más que afianzar la realidad en la que el mercado de las energías renovables seguirá creciendo a un ritmo mayor una vez finalice la crisis sanitaria que estamos viviendo.

Anexo II

LA AEROTERMIA

II.I Introducción a la aerotermia

Según varios estudios acerca de rendimientos anuales de bombas reversibles en edificios residenciales [21], el empleo de la iluminación, calefacción, aire acondicionado y acondicionamiento del agua caliente sanitaria ocupan los primeros lugares en el consumo energético del sector residencial. Con estos datos en la mano, es evidente que la búsqueda de sistemas de climatización más eficientes representa una necesidad muy importante para la economía individual y global.

A día de hoy, los equipos de climatización más comunes en las casas de nuestro país están basados en calentadores que para generar ACS emplean combustibles fósiles o electricidad. El uso de estos equipos está decayendo cada vez más debido a sus bajas eficiencias y sus emisiones de gases nocivos a la atmósfera. En comparación, los sistemas de climatización basados en bombas de calor aerotérmicas pueden aportar a una vivienda el mismo nivel de confort con mucho menos consumo de electricidad.

Según el Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Energías Renovables [22], la aerotermia se define como: *“Energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente. Para extraerla se utiliza un sistema de traspaso compuesto por dos elementos: una unidad exterior que capta la energía y una unidad interior que la traspasa a un circuito de agua de tipo calefacción central. Del transporte de esta energía se encarga un fluido refrigerante que circula entre ambas unidades y que está impulsado por un compresor”*.

Es importante tener en cuenta que la energía contenida en el aire, en forma de temperatura, es virtualmente inagotable ya que se regenera de forma continua gracias a la radiación solar por lo que la aerotermia se puede considerar una energía renovable. También se debe señalar que los sistemas de climatización basados en la aerotermia no emiten gases que produzcan efectos negativos sobre la capa de ozono y, en consecuencia, tampoco necesitan la presencia de depósitos de combustible, chimeneas, etc. para la evacuación de dichos gases.

Cualquier temperatura superior a -273°C (0 K) contiene energía por lo que este tipo de sistema puede ser empleado en invierno a muy bajas temperaturas con relativamente baja pérdida de eficiencia. No obstante, hay que tener en cuenta que, a pesar del alto rendimiento, el poder calorífico no es muy alto por lo que estos sistemas son más adecuados para lugares no excesivamente amplios como, por ejemplo, viviendas unifamiliares.



Figura 1: Vivienda unifamiliar en Lérida con instalación de sistema aerotérmico

II.II Tipologías de sistemas aerotérmicos

La aerotermia funciona mediante una bomba de calor reversible diseñada para generar calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente sanitaria (ACS) durante todo el año. Sin embargo, dependiendo del medio interior y exterior, existen distintos tipos de bombas de calor:

- ❖ Bomba de calor aire-agua: Las bombas de calor aire-agua o bombas aerotérmicas obtienen calor del aire exterior y lo transmiten a un circuito de agua con el objetivo de elevar o disminuir su temperatura. Su instalación puede suponer un gran ahorro en la factura eléctrica ya que el calor que producen suele ser un 25% más barato que el gas natural y hasta un 50% más barato que el gasoil. Este tipo de bomba de calor es en el que nos vamos a centrar en estudiar en este capítulo.
- ❖ Bomba de calor aire-aire: Estas bombas extraen el calor del aire exterior y lo utilizan para calentar el aire interior de una edificación. Su principal desventaja sobre el resto de sistemas es que no permiten producir agua caliente sanitaria por lo que su versatilidad y rentabilidad no es tan alta respecto al resto de equipos. Este tipo de bomba es el más común en el mercado ya que forma parte de los sistemas conocidos como aire acondicionado.

- ❖ Bomba de calor agua-agua y agua-aire: Las bombas de calor agua-agua y agua-aire, obtienen el calor a partir de la energía calorífica de un río cercano o una corriente subterránea y lo transmiten a un circuito de agua o al aire interior de un recinto. Estas bombas que toman calor del agua, tienen una eficiencia superior a las de aire, ya que las corrientes de agua subterráneas, tienen una temperatura casi constante. Sin embargo, requieren la existencia en las cercanías de la instalación de una corriente de agua adecuada, lo cual no es fácil y restringe en gran manera la aplicación de estas máquinas.
- ❖ Bomba de calor tierra-aire y tierra-agua: Este tipo de bombas utilizan un fluido auxiliar para tomar el calor del terreno, cuya temperatura a poca profundidad permanece prácticamente constante. Son las bombas de calor que se utilizan en las instalaciones de calefacción llamadas geotérmicas. Es importante saber que la instalación de una bomba de calor geotérmica requiere un estudio geológico de la superficie de la vivienda lo cual significa una mayor inversión inicial. Aproximadamente, una prospección geológica ronda los 40 euros por metro cuadrado.

Como se ha dicho anteriormente, en este apartado trataremos de forma breve el funcionamiento de una bomba de calor aire-aire. Antes de comenzar, es importante distinguir tres tipologías de sistemas comerciales de aerotermia según su morfología:

- ❖ Sistemas compactos: En este tipo de bombas, todos los componentes se encuentran en una misma unidad. Esta unidad conocida como unidad exterior se sitúa en el fuera de la vivienda y aporta agua caliente o fría al interior en función de si está trabajando en el ciclo de calefacción o de refrigeración.
- ❖ Sistemas Split: Estas bombas están constituidas por dos unidades separadas. Una exterior donde se aloja el compresor y la válvula de expansión y una unidad interior donde se encuentra un intercambiador de calor.
- ❖ Sistemas Multi-Split: Este tipo de bombas está constituido por una unidad exterior y varias unidades interiores.

A continuación, en la Figura 2 podemos observar un sistema de aerotermia tipo split en el cual, a la unidad interior se le ha añadido un depósito de ACS para que la instalación global sea capaz de suministrar tanto calefacción y refrigeración como un suministro de agua caliente sanitaria a la vivienda.



Figura 2: Bomba de calor Daikin Altherma Bibloc (Sistema Split)

II.III Funcionamiento de las bombas de calor

Una vez presentados las distintas tipologías de bombas de calor, procederemos a analizar el principio de funcionamiento básico de estas máquinas y su función en la aerotermia. Las bombas de calor son máquinas cuyo objetivo es, utilizando un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado, transferir calor entre dos focos a diferente nivel térmico, haciendo que dicho calor fluya de una temperatura más baja a más alta. En el ciclo termodinámico de las bombas de calor, el estado físico del fluido refrigerante contenido en el circuito se modifica para permitir la transferencia de calor del “foco frío” al “foco caliente” mediante la aportación de un trabajo mecánico dado por un compresor.



Figura 3: Ciclo termodinámico de una bomba de calor (Ciclo frigorífico)

Este ciclo termodinámico cerrado lo podemos observar en la Figura 4 y se puede descomponer en 4 fases fundamentales:

- ❖ Proceso de compresión: Se eleva la presión y en consecuencia también la temperatura del refrigerante y se transfiere al mismo la energía necesaria para su movimiento a lo largo del circuito frigorífico.
- ❖ Proceso de condensación: Se produce la condensación del refrigerante, cediendo calor al medio externo al condensador.
- ❖ Proceso de expansión: La válvula de expansión genera una pérdida de carga que reduce la alta presión del refrigerante procedente del condensador. Debido a esta pérdida de presión, el fluido comienza a evaporar.
- ❖ Proceso de evaporación: El refrigerante se evapora absorbiendo calor del medio externo al evaporador.

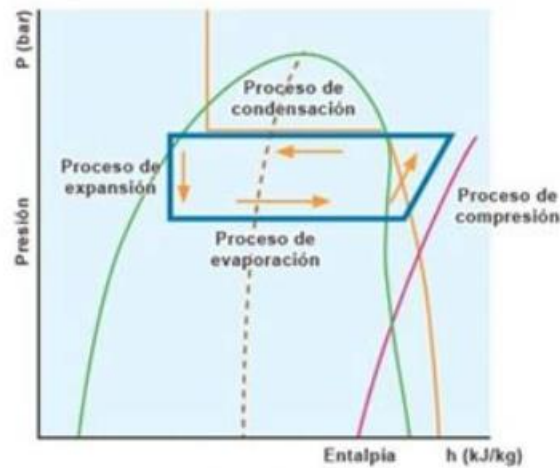


Figura 4: Diagrama P-H del ciclo termodinámico de una bomba de calor

Si observamos la Figura 4, más concretamente, el eje de abscisas del diagrama presión-entalpía, podemos observar como la entalpía correspondiente a la energía aportada por el compresor es muy inferior a los tramos de entalpía correspondientes tanto al de la energía absorbida en el evaporador para la refrigeración, como al de la energía cedida en el condensador para la calefacción, mostrando gráficamente por qué los rendimientos de las bombas de calor, tanto en refrigeración como en calefacción, son muy superiores a 1.

Como podemos apreciar, tanto el funcionamiento como los componentes de una bomba de calor son idénticos a los de una máquina frigorífica. Teniendo en cuenta que la misma máquina es capaz de producir frío o calor, parece lógico adaptarla para que lleve a cabo ambas funciones. Gracias a esta premisa surge la bomba de calor reversible, una máquina la cual, en el momento en el que se produzca una demanda de frío, invertirá su ciclo termodinámico para absorber calor del interior de la vivienda y cederlo al ambiente. Esta inversión del sentido del flujo de refrigerante se debe a la incorporación al circuito de un quinto elemento, la válvula inversora de cuatro vías (Figura 5). Esta válvula se intercala en el circuito de la bomba y, mediante el accionamiento de un conmutador automático que depende de la temperatura del exterior, se invierte el sentido de circulación del gas refrigerante, de forma que el evaporador se transforma en condensador y viceversa.

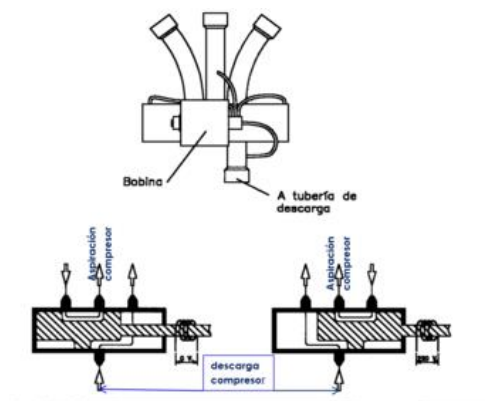


Figura 5: Válvula inversora de cuatro vías

Al añadir la capacidad de reversibilidad a la bomba de calor, podemos representar los dos ciclos termodinámicos (calefacción y refrigeración) en el diagrama presión-entalpía. Como podemos observar en la Figura 6, los saltos entálpicos del gas refrigerante en el ciclo de calefacción son más pronunciados por lo que podemos deducir que la eficiencia será mayor que en el ciclo de refrigeración que en el de calefacción.

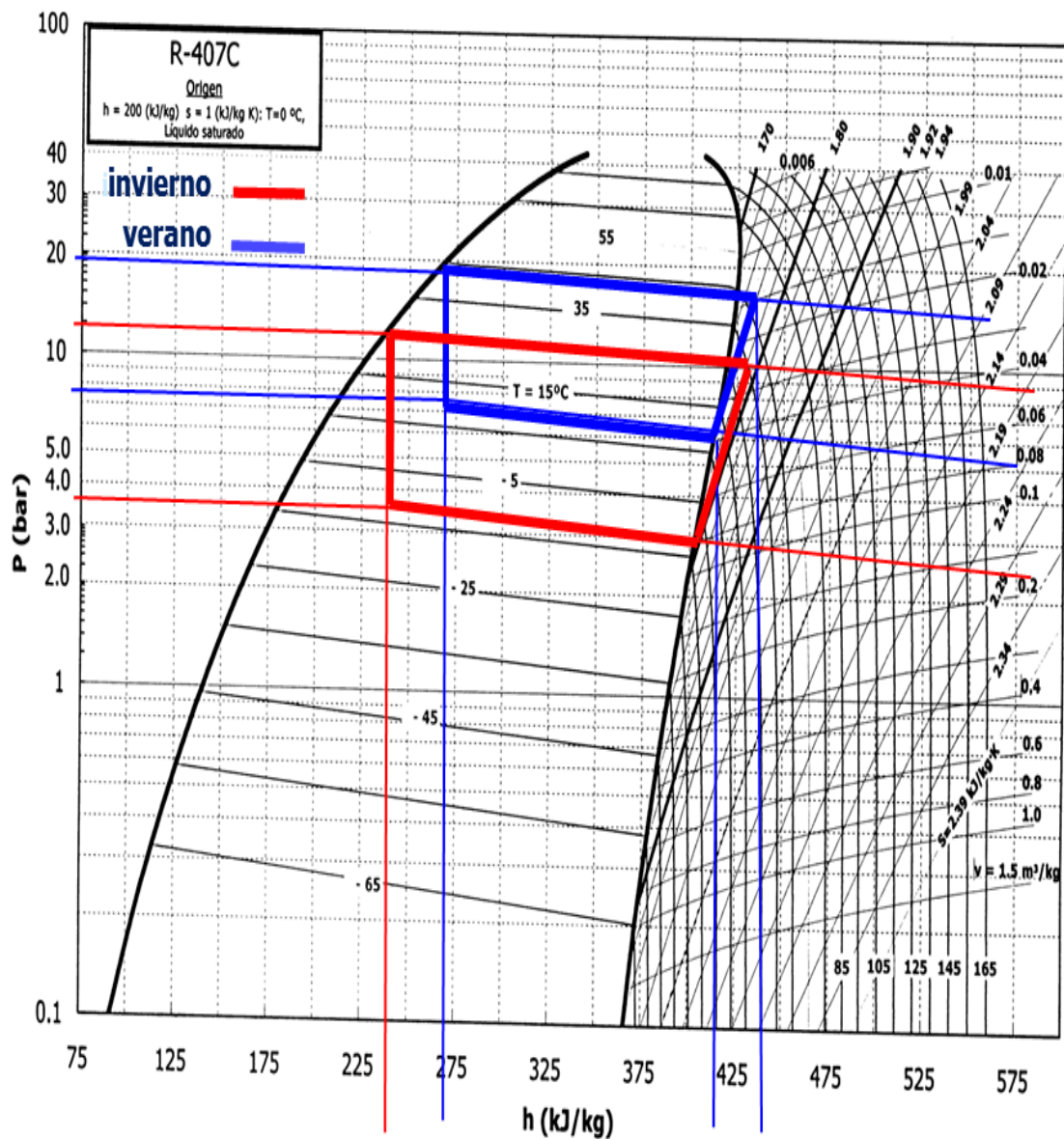


Figura 6: Diagrama P-H de ambos ciclos termodinámicos (calefacción y refrigeración)

II.IV Análisis de los rendimientos de las bombas de calor

El rendimiento de una máquina, por definición, expresa el cociente entre la energía obtenida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada o consumida por la misma. Este concepto de rendimiento se aplica a máquinas de generación o transformación de energía por lo que su valor no puede ser superior a la unidad, es decir, no podemos obtener más energía de la que consumimos. En el caso de la bomba de calor, la máquina no produce energía, sino que la transporta de un foco frío a uno caliente por lo que rendimiento del proceso será superior a la unidad. Con el objetivo de facilitar la comprensión, en este tipo de máquinas el concepto de rendimiento toma el nombre de eficiencia y se denomina como COP (Coefficient of Performance) en el caso de la bomba de calor y EER (Energy Efficiency Ratio) en el caso de la máquina frigorífica.

$$CoP_{\text{verano}} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1}$$
$$CoP_{\text{invierno}} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{1}{1 - \frac{T_1}{T_2}}$$

Como podemos observar en las ecuaciones, el denominador se corresponde a la diferencia de energía entre los focos frío y caliente, es decir, a la energía aportada externamente por el compresor. Por otro lado, el numerador es la energía que expulsamos al foco frío o caliente respectivamente si la máquina actúa como máquina frigorífica o bomba de calor.

Estas ecuaciones permiten calcular el máximo COP teórico, pero, como es lógico, existirán distintas pérdidas irreversibles en el ciclo termodinámico que finalmente reducirán el COP real hasta un valor aproximadamente del 15% del teórico. Estas irreversibilidades vendrán dadas por la eficiencia de intercambio de calor del evaporador y condensador, pérdidas en el compresor, pérdida de carga del fluido por rozamiento en las tuberías, etc. También es muy importante tener en cuenta que cuanto más baja es la temperatura del foco frío y más alta la del caliente, menor es la eficiencia, lo cual es un problema importante en el ámbito doméstico ya que la bomba de calor tiene como uno de sus objetivos la calefacción y tendrá menos rendimiento cuanto más frío haga en la calle. No obstante, una bomba de calor como las que presentaremos más adelante, tiene un COP muy superior a 1 incluso a temperaturas bajo cero.

Cabe destacar que el COP y el EER miden el funcionamiento del dispositivo trabajando al 100%, sin embargo, este tipo de máquinas no siempre están operando a máxima potencia. Por este motivo, a partir del año 2013 con la aplicación del Reglamento Delegado 626/2011 [23], surge la obligación de etiquetar a este tipo de equipos con su factor de eficiencia energética estacional (SEER) y su coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) en lugar de los anteriores EER y COP. Estos índices tienen en cuenta el consumo de energía que realiza el equipo cuando está apagado y el funcionamiento del equipo con cargas parciales.

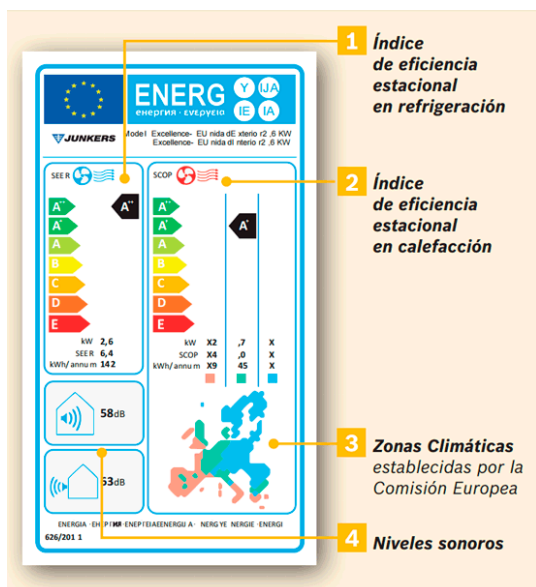


Figura 7: Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética

Etiqueta	Rendimiento en Refrigeración	Rendimiento en Calefacción
A+++	SEER $\geq 8,50$	SCOP $\geq 5,10$
A++	$6,10 \leq \text{SEER} < 8,50$	$4,60 \leq \text{SCOP} < 5,10$
A+	$5,60 \leq \text{SEER} < 6,10$	$4,00 \leq \text{SCOP} < 4,60$
A	$5,10 \leq \text{SEER} < 5,60$	$3,40 \leq \text{SCOP} < 4,00$
B	$4,60 \leq \text{SEER} < 5,10$	$3,10 \leq \text{SCOP} < 3,40$
C	$4,10 \leq \text{SEER} < 4,60$	$2,80 \leq \text{SCOP} < 3,10$
D	$3,60 \leq \text{SEER} < 4,10$	$2,50 \leq \text{SCOP} < 2,80$
E	$3,10 \leq \text{SEER} < 3,60$	$2,20 \leq \text{SCOP} < 2,50$
F	$2,60 \leq \text{SEER} < 3,10$	$1,90 \leq \text{SCOP} < 2,20$
G	SEER $< 2,60$	SCOP $< 1,90$

Figura 8: Equivalencias de índices de eficiencia y SEER/COP

II.V Factores a favor y en contra de la aerotermia

Como hemos comentado en apartados anteriores, la calefacción y el agua caliente por aerotermia son más baratas que por gasoil y gas natural. A partir de varios estudios en diversas instalaciones reales [24], según la temperatura que haya en el exterior, el ahorro de una calefacción aerotérmica frente a gas natural y gasóleo es, como mínimo, del 25% y 50% respectivamente. No obstante, hay que tener en cuenta que ningún sistema es completamente ideal. Cada proyecto tiene sus circunstancias concretas y los sistemas aerotérmicos quizá no sean la solución perfecta para todos ellos. A continuación, comentaremos brevemente las ventajas y desventajas principales que presentan los equipos aerotérmicos:

❖ Factores a favor de la aerotermia

Una de las ventajas más interesantes de la aerotermia es su capacidad de producir energía limpia ya que cuenta con emisiones de CO₂ muy bajas. Además, se trata de un sistema que no genera humo, gases o cenizas en el edificio, por lo que evita problemas de evacuación de los gases de combustión propios de otras tipologías de sistemas de calefacción. También es importante que, al no tener quemador ni cámara de combustión, el sistema no genera residuos y no obliga a hacer limpiezas frecuentes lo que conlleva que el coste del mantenimiento sea inferior al de otros sistemas tradicionales.

Otro punto fundamental a favor es que el rendimiento que puede llegar a obtener una bomba de calor aerotérmica, en condiciones óptimas, es superior al 500% lo cual significa que la bomba genera más de 5kW térmicos por 1 kW eléctrico consumido. Como hemos comentado previamente, la energía presente en el aire es recuperada de forma gratuita y utilizada de manera eficiente por la bomba de calor. Al ser gratuita la energía que se extrae del aire, el gasto que se genera por el consumo eléctrico de la bomba es muy reducido.

Por último, hay que mencionar que la aerotermia es un sistema de fácil instalación idóneo para obra nueva o reforma de antigua vivienda. Además, es fácilmente adaptable a instalaciones de climatización ya existentes creando así un sistema híbrido aerotermia-combustión también muy viable en viviendas unifamiliares. El poco espacio que ocupa es otro de los factores que favorecen su instalación, pues no requiere zona para almacenar combustible, lo cual es un factor positivo para la seguridad de la vivienda.

❖ Factores en contra de la aerotermia

La principal desventaja de la aerotermia radica en que la evaporación del gas refrigerante se lleva a cabo gracias a un medio cambiante como es el aire con fluctuaciones de temperatura notorias que hacen variar las eficiencias de estos sistemas. En según qué casos extremos, los equipos no son capaces de suministrar la energía suficiente a la vivienda por lo que necesitan elementos de apoyo como resistencias para aportar el calor faltante a la vivienda. De hecho, es una tecnología que no se recomienda para zonas con inviernos a muy bajas temperaturas.

También hay que tener en cuenta que en general, la inversión inicial suele ser bastante alta en comparación con otros sistemas de climatización, no obstante, el periodo de amortización de la instalación es relativamente corto, de 2 a 3 años.

II.VI Sistemas aerotérmicos de Saunier Duval

Como ya explicamos en el apartado de tipologías de aerotermia, los sistemas más comunes instalados en viviendas son los sistemas compactos y los sistemas split. Los sistemas compactos están compuestos únicamente por una bomba de calor completa que se coloca en el exterior (de ahora en adelante unidad exterior) que proporciona a la vivienda agua caliente (no sanitaria) de forma directa por lo que, a priori, su coste de instalación es levemente inferior a la tecnología split. La diferencia de los sistemas split respecto a los compactos es que el kit hidráulico encargado de intercambiar el calor del fluido refrigerante con el circuito de agua de la vivienda no se encuentra en la unidad exterior, sino que se lleva al interior de la vivienda dando lugar a una unidad interior. Es importante entender que no existe un sistema mejor que otro, cada uno tiene sus ventajas y desventajas que dependen de las características del proyecto.

En nuestro país, la marca líder en tecnología de calefacción es Saunier Duval. Teniendo sus orígenes en el mercado francés, ha estado manufacturando productos fiables durante más de 100 años centrándose en el desarrollo de sistemas de climatización para edificación individual y colectiva. Sus equipos de aerotermia son capaces de proporcionar calefacción o refrigeración por suelo radiante o fancoils y ACS con un alto nivel de confort [25].

En este apartado nos centraremos en los sistemas aerotérmicos comercializados por Saunier Duval conocidos como Genia Air ya que son los más utilizados por la empresa SUMICAR-PROIBSA, entidad colaboradora de este proyecto. Las bombas de calor aerotérmicas Genia Air se encuentran en dos formatos distintos, configuración compacta y configuración split:

❖ Bomba de calor Genia Air compacta

La Genia Air compacta es una bomba de calor aerotérmica capaz de generar calefacción, ACS y refrigeración. Todos los elementos de la bomba se encuentran en el circuito de la unidad exterior (por fuera de la edificación) por lo que en la vivienda entrará directamente el agua caliente o fría resultado del intercambio de calor con el aire. En función de la potencia a elegir, existen cuatro modelos: 5, 8, 11 y 15 kW.

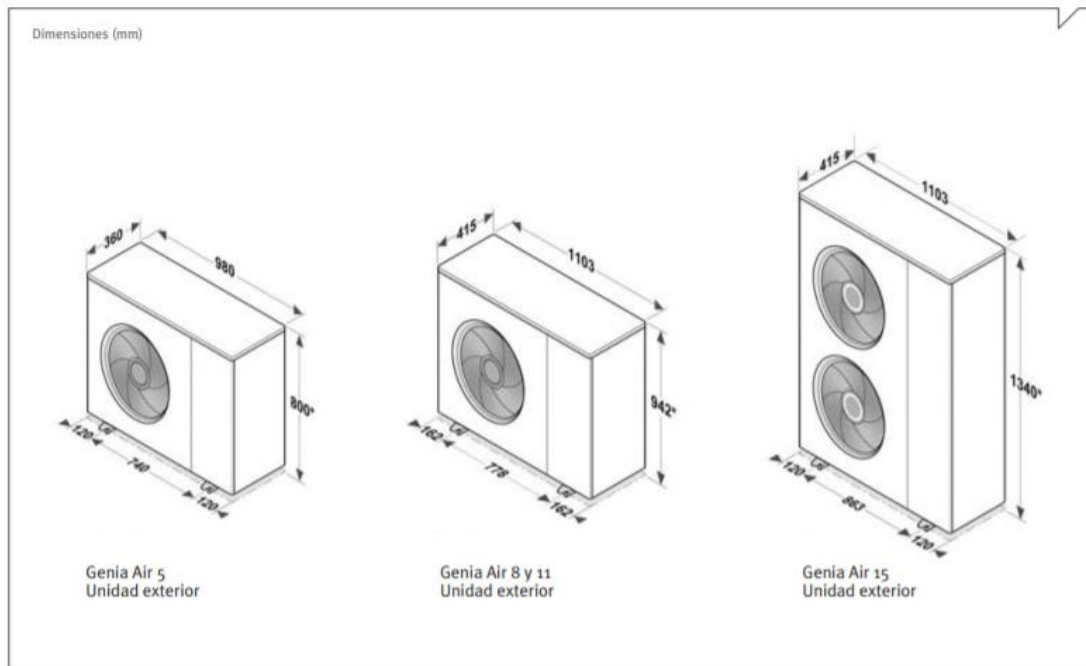


Figura 9: Plano en perspectiva caballera de los distintos modelos de Genia Air compacta [8]



Bomba de calor Genia Air

Genia Air	Ud.	5	8	11	15
Pack MiPro inalámbrico	Ref.	0010023078	0010023079	0010023080	0010023081
Pack MiPro cableado	Ref.	0010023074	0010023075	0010023076	0010023077
Eficiencia impulsión 35 °C		A++	A++	A+	A++
Eficiencia impulsión 55 °C		A+	A++	A+	A+
Alimentación		230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz
Límite de func. mín / max (en calefacción)	°C	-15 / 28	-20 / 28	-20 / 28	-20 / 28
Límite de func. mín / max (en refrigeración)	°C	10 / 46	10 / 46	10 / 46	10 / 46
Ida 35 °C, retorno 30 °C, temp. seca 7 °C					
Potencia de calefacción nominal / máx.	kW	4,4 / 7,2	7,7 / 9,5	10,6 / 11,3	14,6 / 16,6
COP nominal / carga parcial		4,7 / 5,1	4,6 / 4,8	4,3 / 4,5	4,5 / 4,5
Intensidad eléctrica nominal	A	4	7,72	12,04	14,8
Ida 18 °C, retorno 23 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia de refrigeración nominal / máx.	kW	4,4 / 6,2	7,6 / 8,1	10,5 / 11,1	13,7 / 14,9
EER nominal / carga parcial		3,4 / 5	3,6 / 4,3	3,4 / 5,6	3,2 / 4,1
Intensidad eléctrica nominal	A	6,1	10,61	15,69	19,1
Ida 7 °C, retorno 12 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia nominal de refrigeración	kW	3,60	5,50	7,90	10,80
Potencia alcanzable en régimen permanente	kW	-	-	8,30	12,00
Consumo eléctrico nominal	kW	1,30	1,90	2,82	4,50
EER nominal		2,40	2,90	2,80	2,50
EER alcanzable a carga parcial		3,50	3,00	4,20	3,00
Intensidad eléctrica nominal	A	5,90	8,60	13,38	19,60
Circuito frigorífico					
Refrigerante / carga	- / kg	R-410A / 1,8	R-410A / 1,95	R-410A / 3,53	R-410A / 4,4
Circuito hidráulico					
Presión mín./máx.	bar	1 / 3	1 / 3	1 / 3	1 / 3
Caudal de agua máx.	l/h	860	1.400	1.900	2.590
Volumen mínimo de agua	l	17	21	35	60
Presión disponible	mbar	640	450	300	370
Otras características técnicas					
Intensidad máxima absorbida	A	16	16	20	25
Temperatura máxima de ACS	°C	60	63	63	63
Máximo caudal de aire	m³/h	2.000	2.700	3.400	5.500
Presión acústica A7W35*	db(A)	44	46	51	51
Dimensiones (Alto/Ancho/Profundo)	mm	800 / 980 / 360	942 / 1103 / 415	942 / 1103 / 415	1340 / 1103 / 415
Peso neto	kg	86	102	126	165
Conexiones circuito hidráulico	Pulg.	1,25	1,25	1,25	1,25

(*) En campo llano a 2 metros

Figura 10: Ficha técnica de la bomba de calor Genia Air compacta [8]

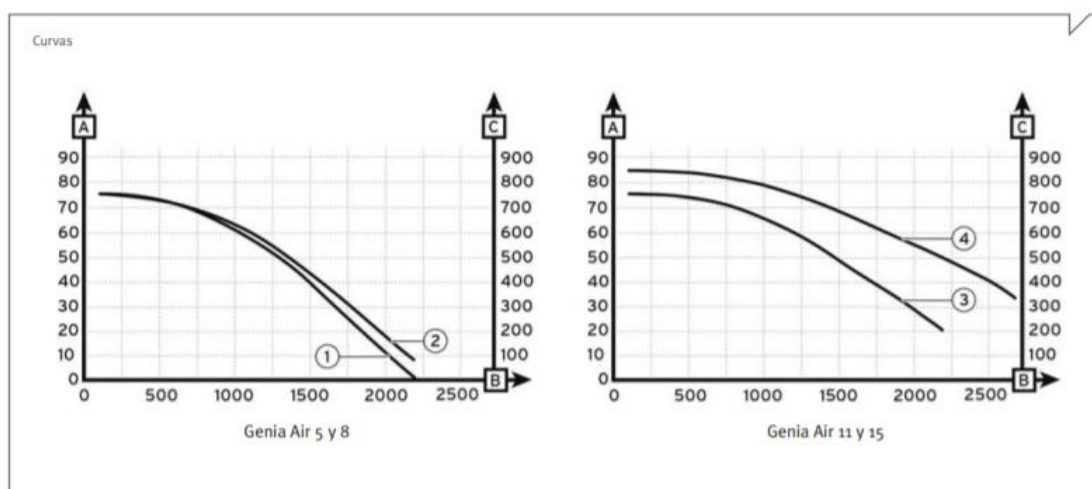


Figura 11: Curvas de eficiencia de los distintos modelos de Genia Air compacta [8]

❖ Bomba de calor Genia Air split

La Genia Air split es una bomba de calor con las mismas funcionalidades que la anterior. La diferencia radica en que está compuesta por una unidad exterior donde se encuentra el ventilador, compresor y válvula de expansión, y una unidad interior localizada dentro de la vivienda formada únicamente por el intercambiador que aporta calor a nuestro circuito de agua. Debido a esta configuración, el refrigerante tiene que viajar desde la unidad exterior donde se comprime y absorbe calor hasta la unidad interior donde lo libera (suponiendo ciclo de calefacción) a través de tuberías de cobre apropiadas. En función de la potencia a elegir, existen cuatro modelos: 4, 6, 8 y 12 kW.

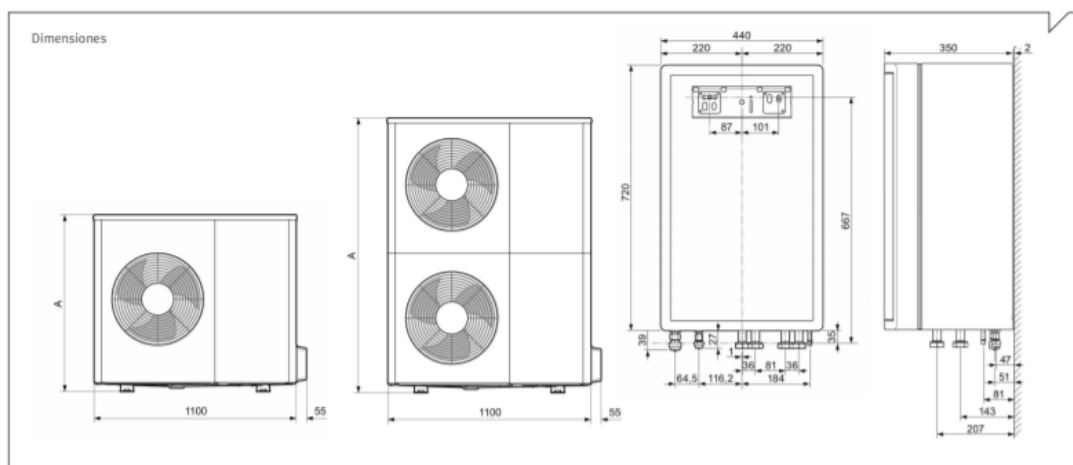


Figura 12: Plano de la unidad exterior de la Genia Air split [8]

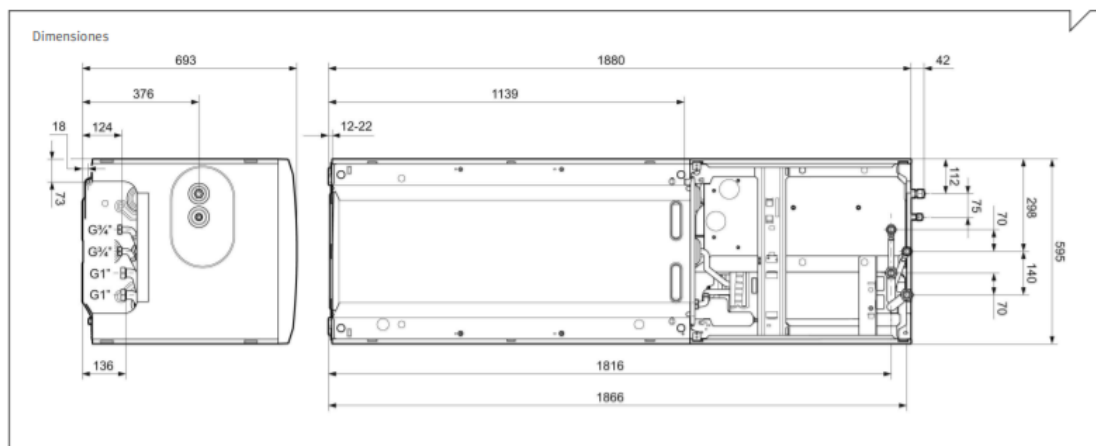


Figura 13: Plano de la unidad interior de la Genia Air split [8]

Genia Air Split

Datos técnicos

Genia Air Split / Unidad exterior	Ud.	HA 4-5 OS 230V B3	HA 6-5 OS 230V B3	HA 8-5 OS 230V B3	HA 12-5 OS 230V B3	HA 12-5 OS 400V B3
Referencia		0010034197	0010034198	0010034199	0010034201	0010034203
Genia Set Split / Torre hidráulica / Unidad interior						
Referencia		0010034207		0010034208	0010034209	
Genia Air Split / Módulo hidráulico / Unidad interior						
Referencia		0010034204		0010034205	0010034206	
Eficiencia energ. calefacción impulsión a 35 °C / 55 °C (A+++ - D)		A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++
Eficiencia energ. ACS Genia Set (A+ - F)		A	A	A	A	A
Límite func. mín/máx en calef. (ACS)		-20/28 (46)	-20/28 (46)	-20/28 (46)	-20/28 (46)	-20/28 (46)
Límite func. mín/máx en refrigeración		15/46	15/46	15/46	15/46	15/46
Ida 35 °C, retorno 30 °C, temp. seca aire 7 °C						
Potencia de calefacción nominal	kW	4,43	5,78	7,72	12,23	12,23
COP nominal		5,28	4,71	4,70	4,66	4,66
Ida 18 °C, retorno 23 °C, temp. seca aire 35 °C						
Potencia de refrigeración nominal	kW	4,40	5,17	6,27	12,81	12,81
EER nominal		4,63	4,01	3,85	3,40	3,40
Ida 7 °C, retorno 12 °C, temp. seca aire 35 °C						
Potencia de refrigeración nominal	kW	4,01	4,74	6,24	10,50	10,50
EER nominal		2,79	2,52	2,39	2,60	2,60
Circuito hidráulico						
Presión máxima circuito de calefacción	bar	3				
Tª máxima modo calefacción	°C	55				
Tª máxima ACS sin (con resistencia)	°C	62 (70)				
Rango de Tª de salida en refrigeración	°C	7-25				
Vol. mín. desescarche (sin resistencia)	l	15/40	15/40	20/55	45/150	45/150
Circuito refrigerante						
Distancia ud. interior/exterior (mín-máx)	m	3-40				
Altura máx. ud. interior / exterior (exterior situada sobre la interior)	m	30				
Tipo de refrigerante		R410A				
Línea de refrigerante (Ø líquido y gas)		1/4" y 1/2"		3/8" y 5/8"		
Carga de refrigerante	Kg	1,50		2,39	3,60	
Precarga	m	15				
Potencial de calentamiento atmosférico PCA - normativa (EU) nº 517/2014	PCA	2088				
CO2 equivalente	t	3,13		4,99	7,52	

Figura 14: Ficha técnica de la bomba de calor Genia Air split [8]

2.7 Equipos de distribución de calor para sistemas de aerotermia

Hasta ahora hemos tratado el funcionamiento y las tipologías de los equipos encargados de producir la energía, ahora trataremos el tema de los dispositivos cuya función es utilizar esa energía para calentar o refrigerar el interior de una vivienda. En las siguientes imágenes podemos ver los 3 equipos más comunes encargados de la calefacción y refrigeración de una vivienda unifamiliar con un sistema de aerotermia; radiadores de baja temperatura, fancoils y suelo radiante.



Figura 15: Radiador de baja temperatura

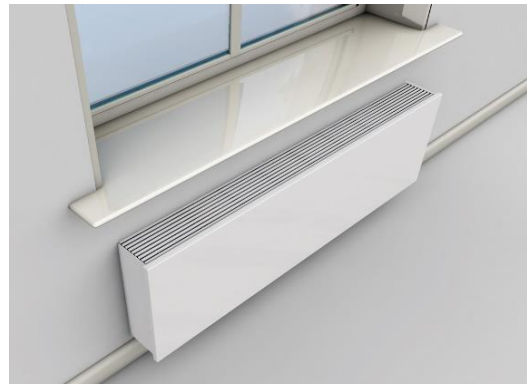


Figura 16: Fancoil



Figura 17: Suelo radiante

De estos tres elementos, el más interesante en cuanto a funcionamiento e innovación tecnológica es el suelo radiante por lo que le dedicaremos un capítulo a sus características y funcionamiento.

II.VIII Suelo radiante

II.VIII.I Suelo radiante

El suelo radiante es un equipo el cual consiste en una red de tubería plástica que, instalada bajo el pavimento y una capa de mortero, hace circular agua caliente o fría por toda la superficie, lo que provoca que el calor o el frío se irradie desde el suelo hacia el interior de la vivienda. En el caso de la calefacción, esto hace que la temperatura del aire a la altura de los pies sea algo superior a la temperatura del aire a la altura de la cabeza, mejorando la sensación de confort. En la Figura 18 podemos observar las distintas distribuciones de temperatura para varios sistemas de calefacción siendo el suelo radiante el equipo que proporciona una distribución de temperatura más homogénea.

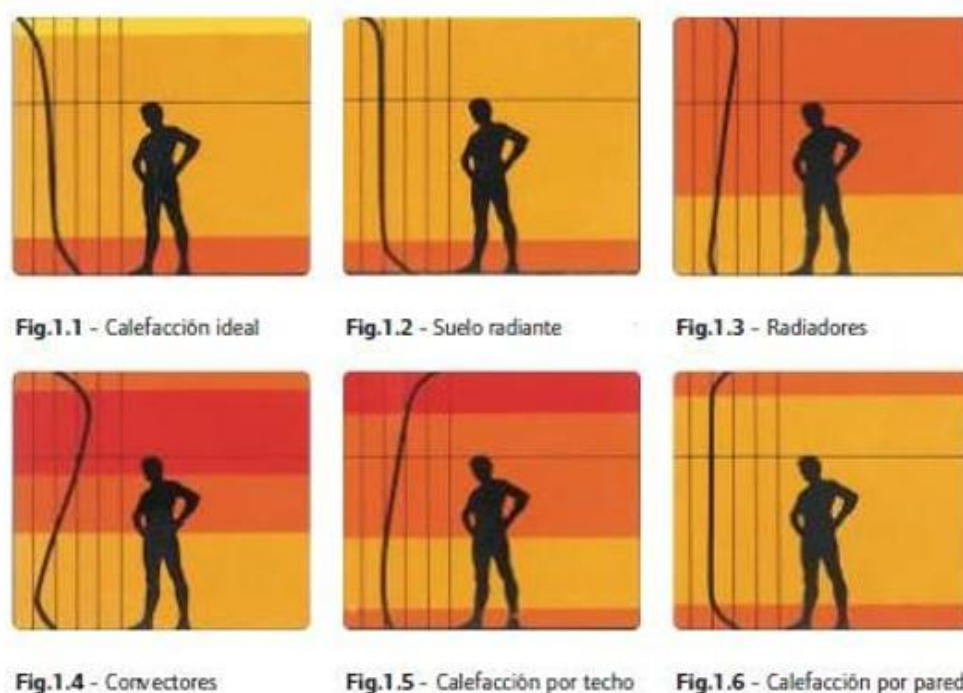


Figura 18: Distribución de temperatura interior según varios sistemas de calefacción

En cuanto al aspecto termodinámico del sistema, una instalación de suelo radiante agrupa todas las formas de transmisión de calor: conducción, radiación y convección. Por ejemplo, en el caso de funcionamiento de calefacción, el proceso de transmisión de calor comenzará por una convección entre el fluido caliente y el tubo que lo contiene, posteriormente existirá una conducción desde el tubo hasta el revestimiento superficial del suelo atravesando la capa de mortero de cemento y finalmente se ocasionará una convección y radiación desde la superficie del suelo hacia el ambiente interior de la vivienda.

II.VIII.II Ventajas y desventajas

El sistema de suelo radiante es un método de climatización que proporciona muchas más ventajas que inconvenientes, entre sus ventajas podemos destacar las siguientes:

- El suelo radiante supone un ahorro de entre un 10% y un 20% en relación a otros sistemas de calefacción convencional debido a su mayor eficiencia. En concreto, este ahorro es provocado por una temperatura de impulsión del agua mucho más baja respecto a los sistemas tradicionales.
- Los equipos de suelo radiante logran conseguir un mayor confort ya que el calor, al ser irradiado por el suelo, genera una distribución de temperaturas muy homogénea por toda la vivienda.
- Es un sistema compatible con distintos sistemas de calentamiento de agua como calderas, bombas de calor, energía solar, etc. Además, en el caso de utilizar una bomba de calor, podemos utilizar la misma instalación para calefacción o refrigeración, según se requiera.
- El suelo radiante es un equipo de climatización que no ocupa espacio a diferencia de, por ejemplo, los radiadores, mejorando así la estética de la vivienda y ahorrando espacio útil aprovechable para mobiliario.

A pesar de sus ventajas, también debemos de mencionar alguna desventaja importante que presenta este tipo de sistemas:

- La instalación de suelo radiante presenta cierta dificultad ya que requiere realizar una gran reforma en la vivienda levantando el suelo por completo. Si añadimos este inconveniente a que la inversión inicial es bastante alta, la lógica nos dice que es un sistema más orientado a viviendas de nueva construcción en vez de a reforma de obra ya construida.
- El mantenimiento de este tipo de sistemas, aunque en el caso de un modelo correcto es prácticamente inexistente, presenta el problema de que una posible avería en la instalación puede requerir levantar el suelo de la vivienda para realizar algún arreglo.
- El funcionamiento del suelo radiante no es el de un sistema de calefacción tradicional. Un equipo de suelo radiante puede requerir de varias horas para alcanzar una temperatura de confort a diferencia de un sistema de calefacción tradicional que va a aportar calor a la vivienda en cuestión de minutos.

II.VIII.III Componentes del suelo radiante

Los equipos de suelo radiante están compuestos por distintos elementos constructivos, de control, de regulación y de distribución:

❖ Elementos de distribución – Colectores

En una instalación de suelo radiante, los colectores se encargan de obtener varios circuitos derivados a partir de un único circuito primario. Para una vivienda, lo más usual es la instalación de dos colectores, uno de impulsión y otro de retorno siendo el primero el encargado de distribuir el agua caliente a los diversos circuitos de la instalación y el segundo el encargado de retornar el agua que se ha enfriado al circuito primario para su posterior calentamiento.

Durante el proceso de diseño del sistema, es muy importante tener en cuenta la ubicación de los colectores en la vivienda. La localización óptima es en una posición más elevada que los circuitos a los que alimentan para facilitar la circulación y el purgado. También es conveniente ubicarlos en un lugar centrado de la vivienda ya que de esa forma se reduce la cantidad de tubería necesaria abaratando costes y evitando pérdidas de carga por rozamiento.

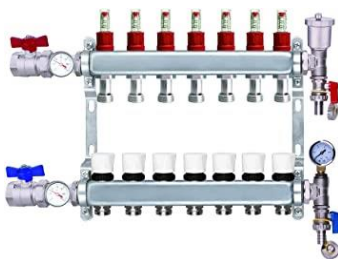


Figura 19: Colectores de impulsión y retorno

❖ Elementos de control y regulación

El sistema de control del suelo radiante tiene como objetivo el análisis del funcionamiento del circuito completo (principalmente de la temperatura del agua) y el posterior control para aumentar el confort y reducir el coste de funcionamiento. Este sistema está compuesto por diversos elementos como termostatos y sondas, los cuales se encargan de la medición de la temperatura en distintos puntos del sistema, válvulas de regulación cuyo objetivo es el control de la temperatura de impulsión del agua y finalmente una centralita, con la que puede interactuar el usuario, encargada de gobernar el sistema.



Figura 20: Sistema de control inalámbrico de Saunier Duval

Por otra parte, el módulo hidráulico tiene como objetivo recibir agua caliente del sistema de producción de calor (en nuestro caso, bomba de calor) y mezclar esa agua con el agua de retorno en proporciones concretas para obtener la temperatura de impulsión deseada. Este dispositivo está compuesto por una bomba de circulación, una válvula mezcladora de 3 vías, una válvula de 3 vías y un termostato.



Figura 21: Módulo hidráulico de una instalación de suelo radiante

❖ Elementos constructivos

El sistema de suelo radiante requiere de diversos elementos constructivos ideados para cumplir funciones térmicas, mecánicas y acústicas optimizando el funcionamiento y evitando problemas estructurales en el suelo de la vivienda.

- Lámina antihumedad: Es una capa de polietileno colocada entre el forjado y la superficie de colocación de los tubos que impide el ascenso por capilaridad de la humedad.
- Aislamiento térmico y acústico: Es un panel de poliestireno expandido encargado de impedir que el calor que emiten los tubos se fugue por el suelo.
- Zócalo perimetral: Es una banda de polietileno extruido que aísla las distintas capas del sistema respecto de los muros, permite la dilatación del mortero y evita puentes térmicos.
- Mortero de cemento: Sus dos funciones principales son alojar los tubos por donde fluye en agua y conducir el calor desde los tubos hasta la superficie de contacto del suelo con el ambiente. Esta capa de mortero normalmente se aditiva con un líquido que aumenta su fluidez con el objetivo de una mayor resistencia mecánica y transmisión del calor.

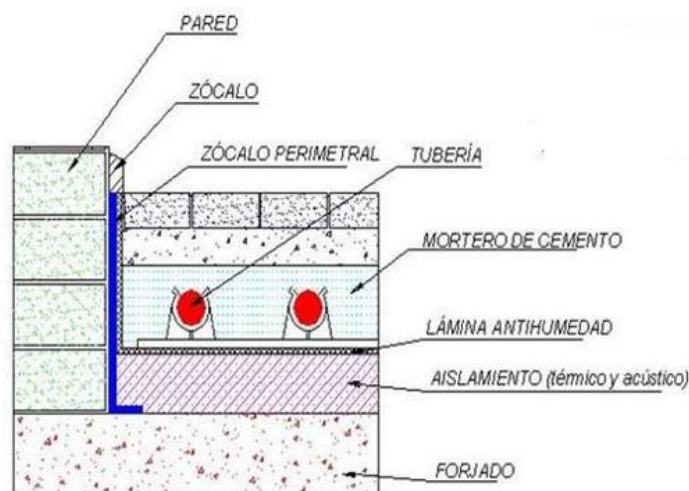


Figura 22: Componentes constructivos del suelo radiante

- Tubería: Los tubos son conductos por los cuales fluye el agua transmitiendo su energía térmica a la capa de mortero de cemento aditivado para que posteriormente se irradie al ambiente interior de la vivienda. Estos tubos se distribuyen por toda la vivienda formando distintos circuitos con 3 tipos de configuraciones que se ilustran a continuación: en serpentín, en doble serpentín o en espiral. Cada configuración tiene sus ventajas y desventajas, por ejemplo, la configuración en serpentín presenta una distribución de temperaturas menos homogéneas a lo largo de la superficie. Estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta a la hora de diseñar una instalación de suelo radiante si el objetivo es la optimización de la transmisión de calor para un mayor confort en el interior de la vivienda. No obstante, la tipología de distribución de la tubería más eficiente, suele ser la configuración en espiral.



Figura 23: Configuración en serpentín

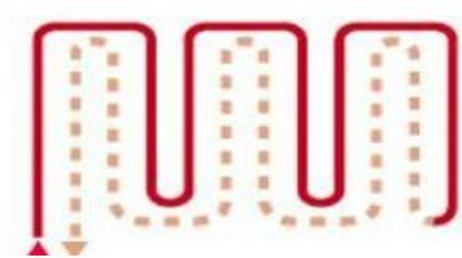


Figura 24: Configuración en doble serpentín

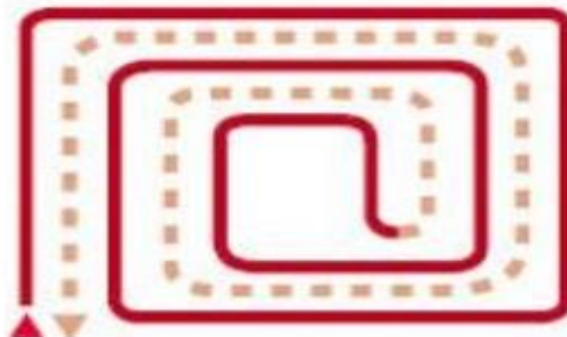


Figura 25: Configuración en espiral

Los modelos de tuberías más comúnmente usados en este tipo de sistemas son de polietileno reticulado, de polibutileno y de multicapa. Cada tipo de material tiene sus ventajas y desventajas por lo que es recomendable seleccionar un modelo de tubería óptimo para el proyecto en el proceso del diseño del sistema de suelo radiante.

II.IX Fundamento teórico para el cálculo de cargas térmicas de calefacción y refrigeración

El cálculo de cargas térmicas es un estudio que se lleva a cabo para reconocer las necesidades de climatización de un espacio, independientemente de la finalidad del mismo, es decir, ya sea para uso familiar, comercial o industrial. Entendemos carga térmica como la cantidad de energía que un área necesita para conseguir unas condiciones de temperatura y humedad concretas con el fin de una aplicación específica, ya sea residencial u otra actividad. El conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible para posteriormente acometer la tarea de diseñar el sistema de calefacción y refrigeración del interior de un edificio, vivienda o local. Precisamente en el diseño de un sistema de aerotermia será necesario calcular las cargas térmicas para las situaciones de diseño de verano y de invierno, dimensionando la instalación para la situación más desfavorable.

Una vez estén pautados los objetivos y las características del espacio que vamos a analizar, existen muchos parámetros que han de ser tenidos en cuenta. Estos factores, cabe la posibilidad de aplicarlos a casi cualquier espacio, sin embargo, los centraremos en un cálculo de cargas térmicas destinado principalmente a una vivienda unifamiliar. Destacamos, por lo tanto, los siguientes aspectos a tener en cuenta antes de comenzar el estudio:

- Localización: La ubicación de la vivienda es muy importante a la hora de realizar un estudio de cargas térmicas. En función de su localización en el mapa nacional y de la norma a utilizar, la vivienda pertenecerá a una zona climática concreta la cual tendrá unas temperaturas y humedades estipuladas por el CTE.
- Factores arquitectónicos: Entre estos factores podemos destacar las dimensiones de las superficies de la vivienda, altura de los techos, paredes, etc. En definitiva, los parámetros de construcción que podríamos obtener de los planos de la vivienda.
- Orientación: Dependiendo del plano en el que se sitúe la vivienda, recibirá una irradiación solar mayor o menor lo cual influirá en la carga térmica total.
- Condiciones exteriores: La carga térmica total de la vivienda también dependerá de unas condiciones exteriores como, por ejemplo, el cambio estacional y los cambios climatológicos y ambientales.
- Condiciones interiores: La carga térmica también variará en función del uso que se le otorgue a la vivienda. No dispondremos de la misma carga térmica para una vivienda en la cual los ocupantes prácticamente no se mueven, que en otra en la cual los inquilinos tienen una actividad física muy alta.
- Área total de vidrio expuesto al exterior: Un factor a tener en cuenta será la superficie de lucernarios, así como su tipología y los marcos utilizados. También será importante conocer otro tipo de materiales constructivos presentes en el techo, tabiquería, suelo y en aquellas superficies en contacto con el exterior.
- Promedio de ocupantes: El número de personas que vivirán o transitarán la vivienda también alterarán el valor total de la carga térmica.

- Fuentes de calor internas y ventilación requerida: Deberemos tener en cuenta los elementos que emitirán calor en el interior de la vivienda (iluminación, máquinas, etc.) y el caudal de ventilación necesario para renovar el aire del domicilio.

En este apartado presentaremos uno de los métodos teóricos, de los muchos que hay, mediante el cual podemos calcular las cargas térmicas de una vivienda. Cabe destacar que, hoy en día, existe multitud de software capaz de cumplir esta función de forma intuitiva, no obstante, es importante entender los fundamentos teóricos sobre los cuales se basan estos programas informáticos. De todas formas, en el siguiente apartado de este capítulo, realizaremos un cálculo térmico de una vivienda real para mostrar el procedimiento que se seguiría en una empresa ingenieril. Antes de empezar con el cálculo teórico, estableceremos una clasificación de las cargas térmicas mediante la cual diferenciaremos entre cargas térmicas sensibles y cargas térmicas latentes:

- Cargas térmicas sensibles: En esta categoría se incluyen las cargas térmicas originadas por una diferencia de temperatura en el aire y también las debidas a la radiación térmica.
- Cargas térmicas latentes: Están compuestas por aquellas cargas térmicas que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente. Por ejemplo, las derivadas del aire exterior o de la actividad interior (como puede ser la humedad generada por unas cocinas o una maquinaria específica).

II.IX.I Cálculo de la carga térmica sensible

En este apartado del cálculo de las cargas térmicas el objetivo será obtener el sumatorio total de las cargas térmicas sensibles, a saber; transmisión a través de cerramientos opacos, transmisión a través de cerramientos traslúcidos, radiación solar, ventilación e infiltración de aire, ocupación del local, iluminación y maquinaria.

Para el cálculo de la carga térmica sensible (Q_s) se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_{ct} + Q_{co} + Q_r + Q_v + Q_o + Q_i + Q_m$$

- | | |
|----------|---|
| Q_{ct} | es el valor de la carga sensible debida a la transmisión a través de cerramientos traslúcidos (W) |
| Q_{co} | es el valor de la carga sensible debida a la transmisión a través de cerramientos opacos (W) |
| Q_r | es el valor de la carga sensible debida a la radiación solar (W) |
| Q_{vi} | es el valor de la carga sensible transmitida por ventilación o infiltración de aire exterior (W) |
| Q_o | es el valor de la carga sensible debida a la ocupación de la vivienda (W) |
| Q_i | es el valor de la carga sensible debida a la iluminación de la vivienda (W) |
| Q_m | es el valor de la carga sensible debida a las máquinas presentes en la vivienda (W) |

- ❖ Carga térmica sensible por transmisión a través de cerramientos opacos (Q_{co})

$$Q_{co} = U * A * \Delta t$$

- Q_{co} es el valor de la carga térmica por transmisión (W)
- U es el valor de la transmitancia térmica del muro ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- A es el valor de la superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas (m^2)
- Δt es el salto térmico entre el interior y el exterior del muro ($^\circ C$)

- ❖ Carga térmica sensible por transmisión a través de cerramientos traslúcidos (Q_{ct})

$$Q_{ct} = U * A * \Delta t$$

- Q_{ct} es el valor de la carga térmica por transmisión (W)
- U es el valor de la transmitancia térmica del cerramiento ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- A es el valor de la superficie del cerramiento expuesta a la diferencia de temperaturas (m^2)
- Δt es el valor de la diferencia de temperaturas entre las caras el interior y exterior del cerramiento ($^\circ C$)

- ❖ Carga térmica sensible por radiación solar (Q_r)

$$Q_r = A * R * f$$

- Q_r es el valor de la carga térmica por radiación solar (W)
- A es el valor de la superficie traslucida expuesta a la radiación (m^2)
- R es el valor de la radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo tabulada para cada latitud (W/m^2)
- f es un factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio, efecto de sombras, etc. Los más habituales son el de marco metálico ($f=1,17$) y el factor solar del vidrio.

En la Figura 26, se pueden observar los distintos valores de las radiaciones solares a través de vidrio sencillo (R):

Latitud Norte	Mes	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.
		Máximas aportaciones solares R (W / m2)								
30°	Junio	63	437	506	283	66	283	506	437	786
	Julio y Mayo	50	412	515	314	94	314	515	412	774
	Agosto y Abril	34	339	519	405	197	405	519	339	739
	Sept. y Marzo	28	283	496	478	329	478	496	283	666
	Oct. y Febrero	24	122	425	513	456	513	425	122	563
	Nov. y Enero	22	50	364	509	500	509	364	50	456
	Diciembre	19	37	329	509	513	509	329	37	412
40°	Junio	53	418	509	349	169	349	509	418	745
	Julio y Mayo	46	399	515	393	217	393	515	399	732
	Agosto y Abril	34	320	509	458	320	459	509	320	673
	Sept. y Marzo	28	182	469	509	440	509	469	182	575
	Oct. y Febrero	22	109	383	513	509	513	383	109	405
	Nov. y Enero	15	37	314	491	522	491	314	37	324
	Diciembre	15	31	270	465	519	465	270	31	267

Figura 26: Valores de radiaciones solares a través de vidrio sencillo según el "Manual de Aire Acondicionado de Carrier"

❖ Carga térmica sensible por ventilación o infiltración de aire exterior (Q_v)

$$Q_v = \dot{V} * 0,34 * \Delta t$$

Q_v es el valor de la carga térmica por ventilación o infiltración (W)

\dot{V} es el valor del caudal de aire infiltrado o de ventilación (m³/h)

0,34 es el valor del calor específico del aire en base al volumen (Wh/m³°C)

Δt es el valor de la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior (°C)

❖ Carga térmica sensible por ocupación de la vivienda (Q_o)

$$Q_o = Q * N$$

Q_o es el valor de la carga térmica por ocupación de la vivienda (W)

Q corresponde a una valoración del calor sensible emitido por una persona en función de su grado de actividad (W/ocupante)

N es el valor del número de ocupantes de la vivienda

En la Figura 27, se pueden observar los distintos valores del calor emitido por una persona en función de su grado de actividad (Q)

Grado de actividad	Temperatura seca del local					
	26°C		24°C		21°C	
	W		W		W	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentados, en reposo	61	41	67	35	75	27
Sentados, trabajo muy ligero	63	53	70	46	79	37
Empleado de oficina	63	68	71	60	82	49
De pie, marcha lenta	63	68	71	60	82	49
Sentado, de pie	64	82	74	72	85	61
Sentado, restaurante	71	90	82	79	94	67
Trabajo ligero en banco de taller	72	147	86	133	107	113
Baile o danza	80	168	95	153	117	131
Marcha, 5 km/h	96	196	111	181	135	158
Trabajo penoso	142	282	153	270	176	247

Figura 27: Valores del calor sensible y latente emitido por un individuo según su grado de actividad

❖ Carga térmica sensible por iluminación de la vivienda (Q_i)

$$Q_i = W$$

Q_i es el valor de la carga térmica por iluminación de la vivienda (W)

W es el valor de potencia de las lámparas (W)

*Esta ecuación es una simplificación de cálculo, habría que tener en cuenta el tipo de lámpara que se utilice en la vivienda (LED, fluorescente, incandescente, etc.)

❖ Carga térmica sensible por las máquinas presentes en la vivienda (Q_m)

$$Q_m = (1 - \eta) * W$$

Q_m es el valor de la carga térmica por maquinaria (W)

η es el valor de rendimiento de la máquina. En el caso de dispositivos electrónicos puede considerarse cero, sin embargo, en motores, transformadores y maquinaria en general habrá que determinarlo a partir de la documentación del equipo

W es el valor de potencia de la maquinaria (W)

II.IX.II Cálculo de la carga térmica latente

En este apartado del cálculo de las cargas térmicas, el objetivo será obtener el sumatorio total de las cargas térmicas latentes, a saber; ventilación e infiltración de aire y ocupación del local.

Para el cálculo de la carga térmica latente (Q_l) se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_l = Q_v + Q_o$$

- ❖ Carga térmica latente por ventilación o infiltración de aire exterior (Q_v)

$$Q_v = \dot{V} * 0,63 * \Delta w$$

Q_v es el valor de la carga térmica por ventilación o infiltración (W)

\dot{V} es el valor del caudal de aire infiltrado o de ventilación (m³/h)

$0,63$ es el producto de la densidad estándar del aire (1,2 kg/m³) por el calor latente de vaporización del agua (0,52 Wh/g)

Δw es el valor de la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior y el interior

- ❖ Carga térmica latente por ocupación de la vivienda (Q_o)

$$Q_o = Q * N$$

Q_o es el valor de la carga térmica por ocupación de la vivienda (W)

Q corresponde a una valoración del calor latente emitido por una persona en función de su grado de actividad (W/ocupante)

N es el valor del número de ocupantes de la vivienda

*Se calcula de la misma forma que la carga térmica sensible por ocupación de la vivienda. La única diferencia radica en que tendremos que buscar en las columnas de calor latente de la Figura 27, ya vista en cálculos anteriores.

II.X Cálculo de cargas térmicas de una vivienda unifamiliar mediante flujo de trabajo BIM

Con el objetivo de mostrar cómo se operaría en un entorno más práctico, en este apartado del proyecto realizaremos un cálculo de las cargas térmicas de una vivienda unifamiliar supuesta mediante software especializado siguiendo un flujo de trabajo BIM (Building Information Modeling).

BIM es un método de trabajo caracterizado principalmente por su desarrollo colaborativo ya que agrupa a todos los actores que intervienen en el proceso de edificación (arquitectos, ingenieros, constructores, etc.) y establece un flujo de comunicación directo entre ellos. Esta comunicación se debe a la generación de un modelo virtual que contiene toda la información relacionada con el edificio durante todo su ciclo de vida, desde su concepción inicial, durante su construcción y toda su vida útil, hasta su demolición.

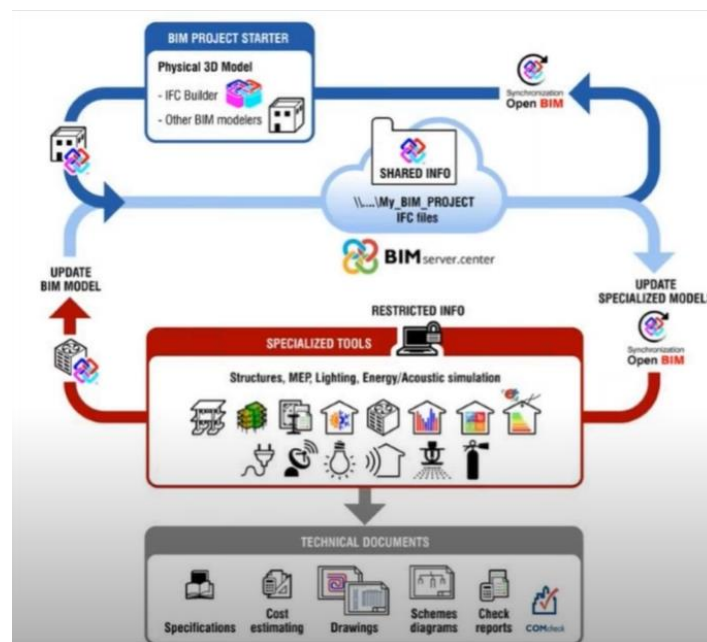


Figura 28: Esquema básico del flujo de trabajo BIM

Como podemos observar en el diagrama anterior, el método de trabajo BIM se basa en un modelo físico de la obra a partir del cual se podrán realizar tareas específicas como diseño de sistemas eléctricos, de iluminación, de fontanería, de climatización o cálculos de eficiencia energética o, lo que incumbe a este proyecto, cálculos de cargas térmicas. El factor diferencial de este método de trabajo es la realimentación entre el modelo físico y los cálculos/diseños posteriores ya que un cambio en el modelo físico provocará un cambio automático en los cálculos y diseños ya existentes y viceversa. Es decir, si tenemos hecho un modelo constructivo de una vivienda y posteriormente hemos realizado un cálculo de cargas térmicas, en el caso de que hagamos una modificación en el modelo físico, el cálculo de cargas térmicas se actualizará sin que tengamos que volver a realizarlo desde el principio lo cual agilizará todos los procesos relativos al proyecto y facilitará el trabajo entre los participantes. Este incremento de la coordinación entre los agentes del proyecto es la principal ventaja del método de trabajo BIM ya que provocará una optimización de todo el proceso de edificación.

II.X.I Modelo físico de una vivienda unifamiliar mediante IFC BUILDER

Para realizar el cálculo de cargas térmicas, antes necesitaremos un modelo físico sobre el cual operar. Con este objetivo, se diseñará un plano simplificado de una posible vivienda unifamiliar localizada en el barrio de Montecanal, en la localidad de Zaragoza. Se quiere reiterar que el modelo físico que vamos a plantear es un ejemplo muy simple ya que la motivación de este proyecto no es el diseño de una vivienda, sino el análisis, diseño y estudio energéticos asociados a un domicilio.

❖ Descripción de la vivienda

La vivienda ficticia en cuestión, como se ha comentado, se ubica en el Barrio de Montecanal, en la localidad de Zaragoza, a 253 metros sobre el nivel del mar según la Agencia Estatal de Meteorología (AEM). El domicilio está proyectado para ser habitado por una familia de 4 individuos con una actividad física ligera dentro de la vivienda. Cabe destacar que no colinda con ningún otro edificio por lo que todos los muros de fachada, suelo y cubierta están en contacto directo con el exterior y, además, no recibe sombra de ningún elemento externo a la vivienda. Por último, también se matiza que la vivienda está situada siguiendo una orientación sur (como se puede apreciar en el plano simplificado) y está compuesta por una sola planta dividida en 6 estancias: dos dormitorios, dos baños, una cocina y un salón/comedor.

ESTANCIA	SUPERFICIE (m ²)	VOLUMEN (m ³)
Salón/Comedor	46,4	125,23
Dormitorio 1	17,6	47,51
Dormitorio 2	19	51,34
Baño 1	9,9	26,72
Baño 2	6,8	18,48
Cocina	12,8	34,69
TOTAL	112,5	303,97

Figura 29: Tabla de las superficies de la vivienda unifamiliar propuesta

❖ Generación del modelo mediante IFC Builder

Para la generación del modelo físico del proyecto, utilizaremos uno de los programas informáticos compatibles con el flujo de trabajo BIM, en este caso, IFC BUILDER [26]. Este software, similar a REVIT o ARCHICAD, permite la creación y mantenimiento de modelos IFC de edificios.

El proceso de modelaje comenzará por importar el boceto de una plantilla dibujada en AutoCAD que represente la planta de nuestra vivienda. A partir de esa plantilla, dibujaremos la envolvente del edificio mediante la herramienta “Muros y particiones” seleccionando un espesor adecuado para el muro exterior. Una vez cerrado el domicilio, con la misma herramienta dividiremos la vivienda en las distintas estancias propuestas teniendo en cuenta que el espesor de la tabiquería interior será menor al de la fachada. Posteriormente, añadiremos un suelo mediante la herramienta “Forjado” y una cubierta planta mediante la herramienta “Cubierta”. En este punto, añadiremos las puertas de cada estancia mediante la herramienta “Huecos – Carpintería exterior” y las ventanas de la vivienda mediante la herramienta “Huecos – Hueco acristalado”. También definiremos la orientación de la obra mediante la herramienta “Orientación” que nos permite colocar una brújula orientable en función de hacia donde esté situada la vivienda. Finalmente, definiremos los distintos recintos seleccionando y dando nombre a las seis estancias que componen la vivienda y exportaremos el proyecto con la extensión “.ifc”.

*Es importante entender que, en este programa de modelaje físico de la obra, no se van a dar cualidades estructurales ni constructivas del edificio. Es decir, en este paso no vamos a definir ni la composición ni las características térmicas de los distintos componentes de la vivienda, sólo se definirán los aspectos geométricos de la misma. Los parámetros térmicos y las distintas composiciones de suelos y cerramientos se definirán en el apartado de cargas térmicas mediante el software de cálculo “CYPETHERM LOADS”.

A continuación, se muestra la planta simplificada del domicilio, así como sus modelados en 3 dimensiones:

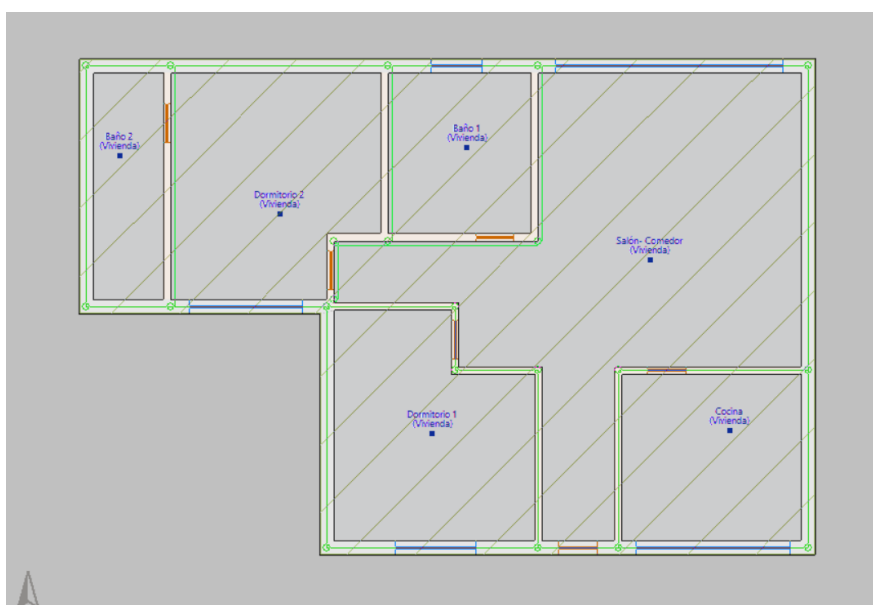


Figura 30: Planta simplificada de la vivienda propuesta

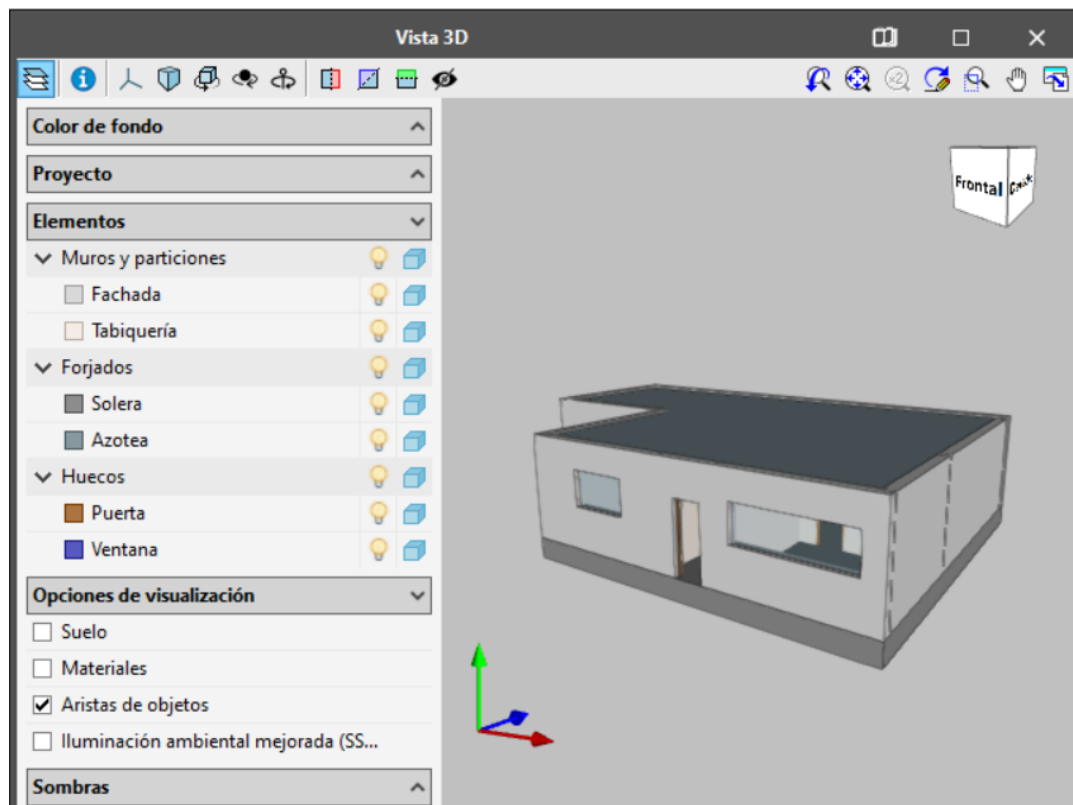


Figura 31: Vista tridimensional (1) de la vivienda propuesta

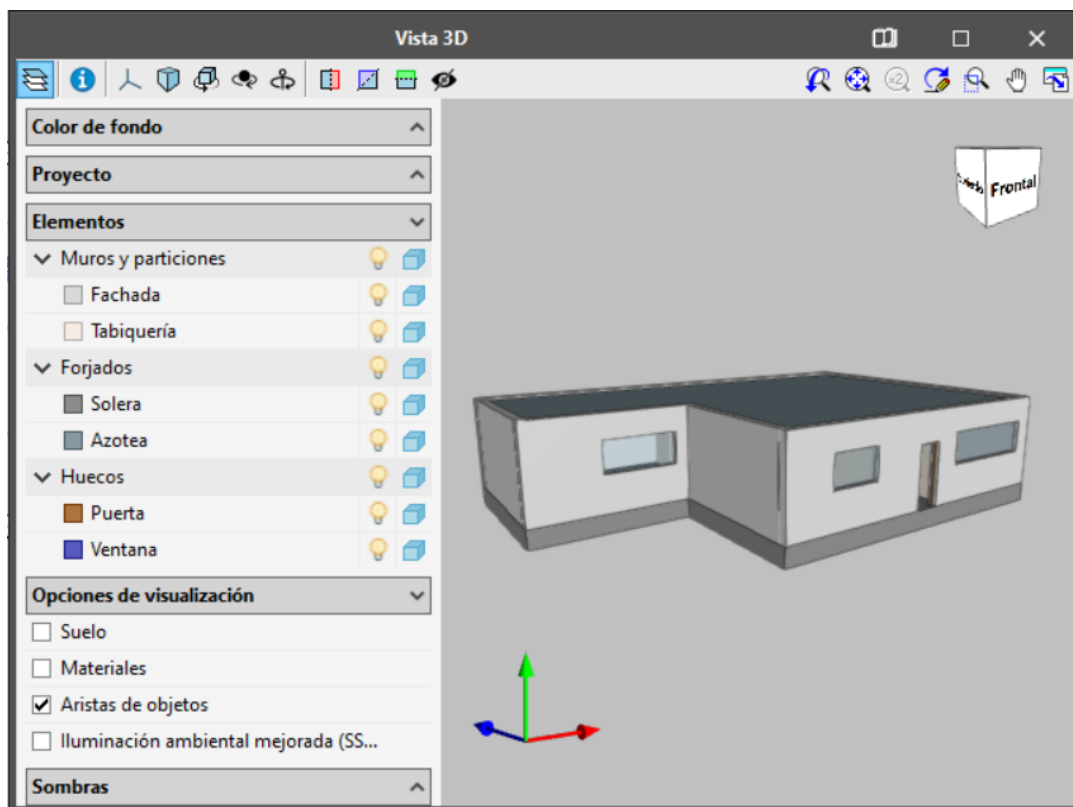


Figura 32: Vista tridimensional (2) de la vivienda propuesta

II.X.II Cálculo de las cargas térmicas mediante CYPETHERM LOADS

Una vez construido el modelo físico de nuestra obra en formato “.ifc” lo importaremos al programa de cálculo de cargas térmicas “CYPETHERM LOADS” [27]. Este software calcula la carga térmica de los edificios según el método de las series temporales radiantes, propuesto por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE). El método de las series temporales radiantes propuesto y recomendado por ASHRAE para el cálculo de las cargas térmicas de refrigeración y detallado en su correspondiente manual [28], es el método más utilizado para la estimación de las cargas térmicas. Al ser un método de cálculo que separa las aportaciones de cada contribución, facilita el análisis y la comprensión de los resultados. Además, esta aplicación está integrada en el flujo de trabajo BIM por lo que existirá una realimentación entre nuestro modelo físico creado en el apartado anterior y el modelo de cálculo de cargas térmicas que vamos a realizar.

❖ Limitación de demanda energética (HE-1) según el Código Técnico de la Edificación

Antes de comenzar el cálculo en el software propuesto, debemos garantizar que la demanda energética del edificio debida a las pérdidas y ganancias de calor a través de los cerramientos es igual o menor a unos valores considerados de referencia por el Código Técnico de la Edificación (CTE) para la zona climática en la que se encuentra la vivienda [1]. Para ello acudiremos a la información detallada en el apartado 3.1.1 del CTE [2]. Este apartado regula los valores máximos de transmitancia térmica que puede tener la envolvente de nuestra vivienda en función de la zona climática en la que se encuentre nuestra obra.

Para localizar la zona climática, observaremos el anejo B del CTE donde se establecen las diferentes zonas climáticas, especificadas por una letra y un número. La letra hace referencia a la dureza del invierno (de A a E) y el número a la dureza del verano (de 1 a 4). Cada capital de provincia tiene una zona asignada, que para el resto de municipios se va endureciendo conforme aumenta la altitud sobre el nivel de su capital. Dichas capitales de provincia tienen, marcados por el CTE, una serie de valores de transmitancia límites. En nuestro caso buscaremos la provincia de Zaragoza y el intervalo de altitud correspondiente a 253 metros sobre el nivel del mar.

Tabla a-Anejo B. Zonas climáticas

		Altitud sobre el nivel del mar (h)																													
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m							
Albacete	C3										D3										E1										
Alicante/Alacant	B4					C3										D3															
Almería	A4		B4			B3			C3										D3												
Araba/Álava	D1										E1																				
Asturias	C1	D1										E1																			
Ávila	D2										D1										E1										
Badajoz	C4								C3	D3																					
Balears, Illes	B3					C3																									
Barcelona	C2					D2					D1										E1										
Bizkaia	C1					D1																									
Burgos	D1										E1																				
Cáceres	C4										D3										E1										
Cádiz	A3			B3					C3					C2					D2												
Cantabria	C1			D1										E1																	
Castellón/Castelló	B3		C3								D3			D2								E1									
Ceuta	B3																														
Ciudad Real	C4								C3	D3																					
Córdoba	B4			C4										D3																	
Coruña, A	C1					D1																									
Cuenca	D3										D2										E1										
Gipuzkoa	D1										E1																				
Girona	C2		D2										E1																		
Granada	A4	B4					C4					C3					D3					E1									
Guadalajara	D3										D2										E1										
Huelva	A4	B4	B3					C3										D3													
Huesca	C3				D3					D2					E1																
Jaén	B4								C4								D3								E1						
León	E1																														
Lleida	C3	D3										E1																			
Lugo	D1										E1																				
Madrid	C3										D3										D2	E1									
Málaga	A3	B3					C3										D3														
Melilla	A3																														
Murcia	B3	C3										D3																			
Navarra	C2	D2					D1					E1																			
Ourense	C3				C2			D2										E1													
Palencia	D1										E1																				
Palmas, Las	α3					A2										B2					C2										
Pontevedra	C1					D1																									
Rioja, La	C2				D2										E1																
Salamanca	D2										E1																				
Santa Cruz de Tenerife	α3					A2										B2					C2										
Segovia	D2										E1																				
Sevilla	B4				C4																										
Soria	D2										D1	E1																			
Tarragona	B3	C3										D3																			
Teruel	C3								C2	D2										E1											
Toledo	C4										D3																				
Valencia/València	B3	C3										D2										E1									
Valladolid	D2										E1																				
Zamora	D2										E1																				
Zaragoza	C3					D3										E1															
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m							

3.1.1 Transmitancia de la envolvente térmica

- 1 La *transmitancia térmica* (U) de cada elemento perteneciente a la *envolvente térmica* no superará el valor límite (U_{lim}) de la tabla 3.1.1.a-HE1:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Figura 34: Tabla de referencia del CTE de los valores de transmitancia térmica para cada zona climática

Como nuestra zona climática está en la categoría D, deberemos de tener en cuenta los valores de su columna correspondiente a la hora de diseñar los muros, suelos y cubiertas de la vivienda.

❖ Introducción de los datos referidos a las condiciones de uso de la vivienda en CYPETHERM LOADS

Ahora sí, estaremos listos para empezar a operar en nuestro modelo físico generado por IFC BUILDER a partir del programa de cálculo de cargas CYPETHERM LOADS. En este primer paso nuestro objetivo será detallar con la mayor exactitud posible los datos referidos a las condiciones de uso de la vivienda como pueden ser el número de ocupantes, su actividad física, su perfil diario de uso de la vivienda, sus temperaturas de diseño para verano e invierno, su iluminación, etc. Para ello abriremos el apartado “Recintos” y seleccionaremos el recinto “Vivienda” creado en el modelo físico IFC.

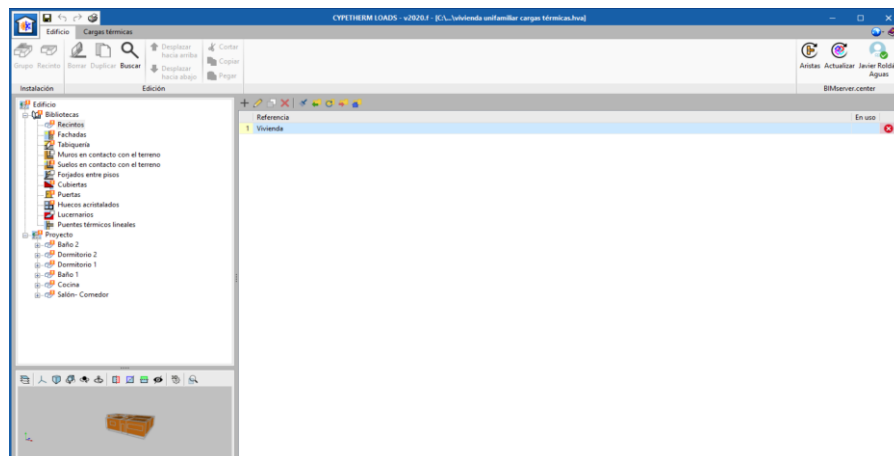


Figura 35: Interfaz del software de cálculo de cargas térmicas CYPETHERM LOADS

A continuación, se nos desplegará un menú que nos ofrecerá distintos campos para rellenar con los datos de diseño que tengamos planeados. Los apartados de esta ventana los completaremos de la siguiente forma:

- Refrigeración y calefacción: Seleccionaremos unas temperaturas de calefacción y refrigeración de 22 y 24 grados Celsius respectivamente. De la misma forma, escogeremos unas humedades relativas de 30% y 50% para cada modo de funcionamiento del sistema de climatización.
- Ventilación: Para rellenar el apartado de ventilación, acudiremos a la tabla 2.1 del apartado de eficiencia energética del CTE la cual especifica el caudal mínimo de ventilación para locales secos y húmedos [3]. En el caso de nuestro software, el valor que seleccionemos será un caudal medio por estancia de la vivienda. De esta forma, si respetamos que nuestro caudal de ventilación total tiene que ser mayor a 24 l/s, escogeremos por ejemplo un caudal de 36 l/s que dividiremos entre las 6 estancias para obtener un caudal medio por estancia de 6 l/s que será el valor que introduciremos en este campo. También seleccionaremos la opción de recuperación de calor para reducir el gasto energético respecto a ventilar la vivienda con aire directamente recogido del ambiente.

Tabla 2.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los *locales* secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo *local* se den usos de *local* seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros *locales* pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Figura 36: Tabla de referencia del CTE de los caudales mínimos de ventilación

- Infiltración: En el apartado de infiltración tendremos una situación idéntica a la anterior. El dato que pide el programa al usuario es el del caudal de infiltración medio por habitación, así pues, realizaremos una estimación de este respecto del caudal de ventilación obtenido mediante el CTE. Evaluaremos que el flujo volumétrico de infiltración será el 30% del flujo volumétrico medio de ventilación por estancia de la vivienda.

$$\dot{V}_{in} = \dot{V}_{ve} * 0,3$$

A partir de esta estimación, obtendremos un caudal de infiltración de 1,8 l/s que al redondearlo para poder introducirlo en el programa resultará en 2 l/s.

- Ocupación: En este apartado deberemos seleccionar la densidad de ocupación de la vivienda y su actividad física media. Al ser una familia de 4 personas, dividiremos la superficie total entre 4 y la redondearemos a la baja teniendo en cuenta que 2 de los miembros de la familia son niños. De esta forma obtendremos una densidad de ocupación aproximada de 20 m²/persona. Para elegir la actividad física abriremos un desplegable en el cual escogeremos la opción que nos parezca más realista, en nuestro caso se ha elegido “Seated, very light work”. Finalmente, se nos presentará la opción de elegir un perfil de uso diario de la vivienda, por defecto, se aplicará un 100% de uso durante todo el día, pero eso es algo que si deseamos podemos cambiar. Como el perfil de uso diario es una herramienta que podemos utilizar para rellenar más campos, crearemos uno adaptado a nuestra vivienda. El perfil que mostramos a continuación corresponde a un uso completo de la vivienda desde las 19:00 hasta las 7:00 y un decrecimiento en la utilización del domicilio entre esas horas debido a la jornada laboral de los padres y la escolar de los niños.

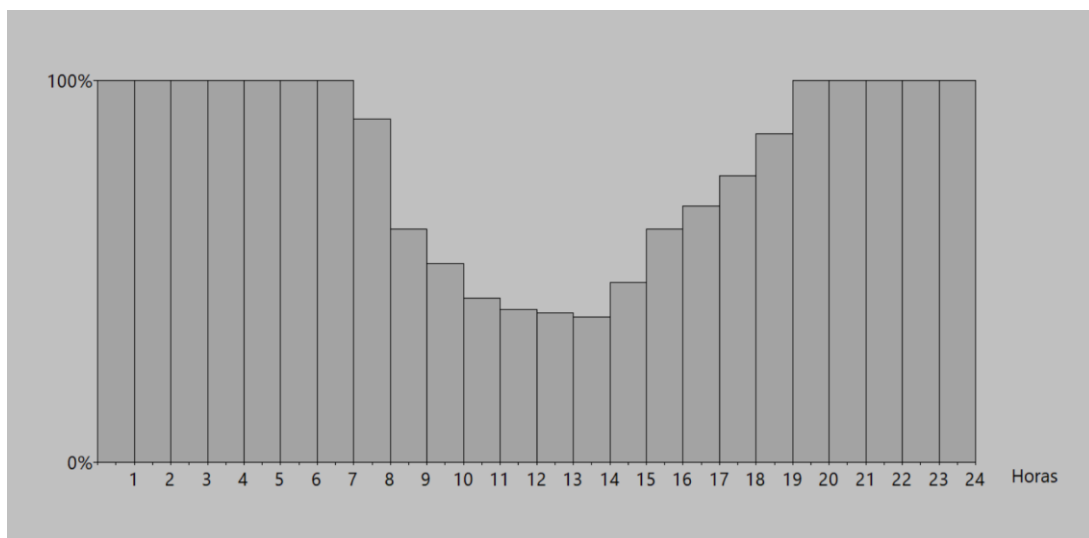


Figura 37: Perfil de uso de la vivienda unifamiliar supuesta

- Equipamiento interno: En este apartado abriremos un desplegable que nos ofrece el programa, el cual muestra varias opciones de ganancias de calor debida a maquinaria existente en la vivienda. Como el objetivo de nuestra obra es residencial, seleccionaremos la opción “Light”.
- Iluminación: Por último, seleccionaremos el tipo de iluminación de la vivienda. En el campo de “Building area type” seleccionaremos la opción de “Dormitory” y en el de “Luminaire category” la opción de “Recessed fluorescent luminaire without lens”.

Después de rellenar todos los campos con la información que hemos especificado, el resultado del menú de condiciones de uso de la vivienda será tal que así:

Recinto (Tipo 1)

Referencia:

Clasificación del recinto:

Condiciones de cálculo:

Refrigeración

Temperatura interior de diseño: °C

Humedad relativa de diseño: %

Calefacción

Temperatura interior de diseño: °C

Humedad relativa de diseño: %

Ventilación/Infiltración

☒ Ventilación: l/s

☒ Infiltración: l/s

☒ Recuperación de calor

☐ Sólo con ventilación nula

☐ Eficiencia térmica

☐ Eficiencia higrométrica

☒ Perfil de uso

☒ Ganancias internas de calor

☒ Ocupación: m²/persona

☒ Equipamiento interno

Ganancia de calor sensible: W/persona

Fracción radiante:

Ganancia de calor latente: W/persona

☒ Perfil de uso

☐ Perfil de uso

☒ Iluminación

☐ Otras cargas

Ganancia de calor sensible: W/m²

Fracción radiante:

Ganancia de calor latente: W/m²

Ganancia de calor sensible: W/m²

Fracción radiante:

Figura 38: Menú de condiciones de uso de la vivienda unifamiliar supuesta en CYPETHERM LOADS

❖ Selección de los materiales para la envolvente y la tabiquería de la vivienda en CYPETHERM LOADS

Una vez hemos introducido las condiciones de uso de la vivienda, pasaremos al apartado de la elección de los materiales que compondrán nuestros muros, tabiques, suelos y cubiertas. Este paso lo realizaremos seleccionando las distintas partes de la envolvente y creando una referencia en la que elegiremos los materiales deseados y su espesor. Después de crear la referencia, a la derecha de la pantalla podremos observar un diagrama del muro obtenido y una tabla que especificará sus capas y su transmitancia y capacidad térmica.

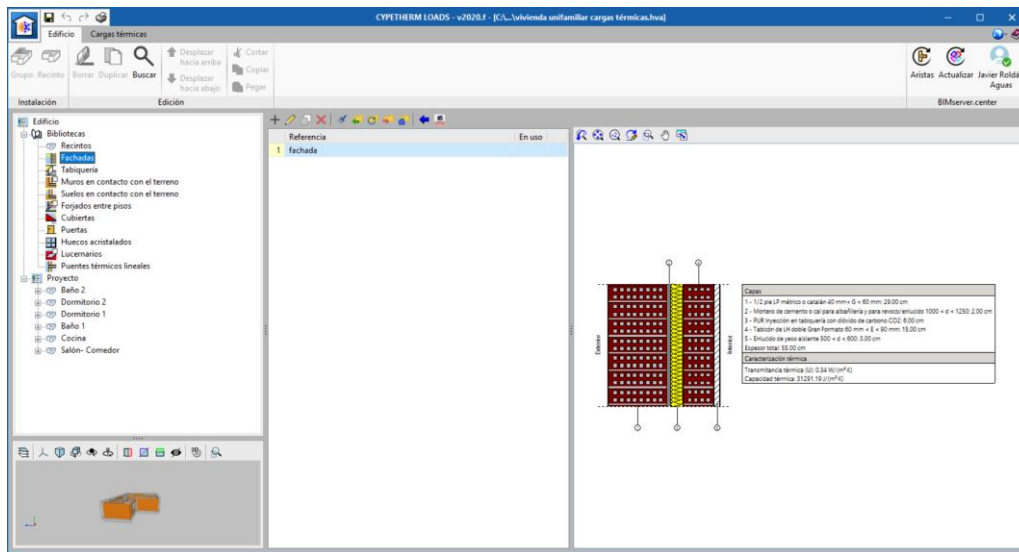


Figura 39: Interfaz del menú de creación de la envolvente de la vivienda unifamiliar supuesta en CYPETHERM LOADS

En este apartado no se explicarán los motivos detrás de la elección de cada material, pero si se analizará la transmitancia térmica total de cada componente de la envolvente respecto a las transmitancias límites reguladas por el CTE que hemos visto en una tabla anteriormente.

3.1.1 Transmitancia de la envolvente térmica

- 1 La transmitancia térmica (U) de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica no superará el valor límite (U_{lim}) de la tabla 3.1.1.a-HE1:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T)	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MI})						
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H) [*]	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

^{*}Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Figura 40: Tabla de referencia del CTE de los valores de transmitancia térmica para cada zona climática

- Fachada

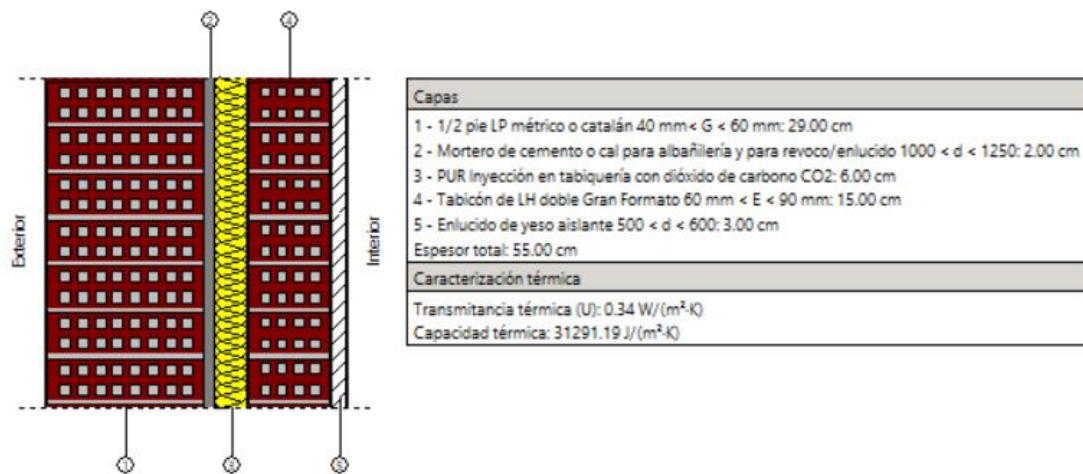


Figura 41: Composición de la fachada de la vivienda por capas

Transmitancia térmica de la fachada modelada = 0,34 (W/m²K)

Transmitancia térmica límite de la fachada en zona climática D según el CTE = 0,41 (W/m²K)

Como $0,34 < 0,41$ nuestro modelo de fachada es correcto.

- Tabiquería

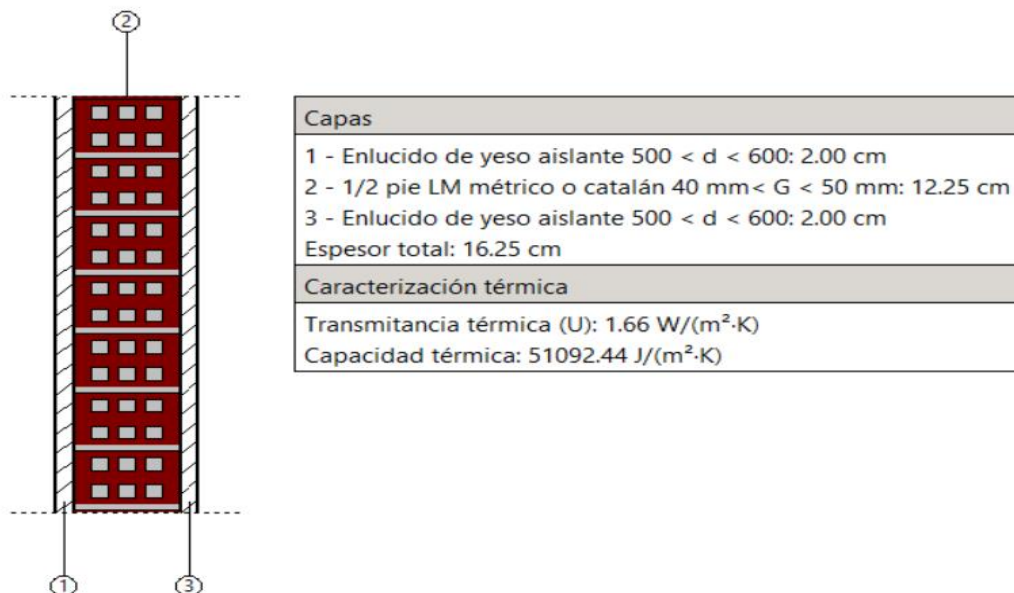
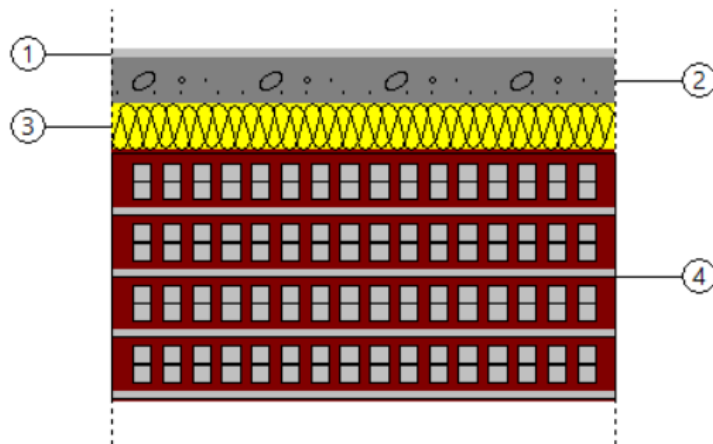


Figura 42: Composición de la tabiquería de la vivienda por capas

En el apartado de la tabiquería, el concepto de transmitancia térmica pierde el sentido ya que la idea es que la vivienda tenga una temperatura homogénea por lo que la transmisión de calor entre las distintas estancias es irrelevante.

- Suelo



Capas
1 - Frondosa pesada $750 < d < 870$: 1.00 cm
2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1800 < d < 2000$: 5.50 cm
3 - EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]: 5.50 cm
4 - FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 250 mm: 30.00 cm
Espesor total: 42.00 cm
Caracterización térmica
Resistencia térmica: 2.282 (m ² ·K)/W

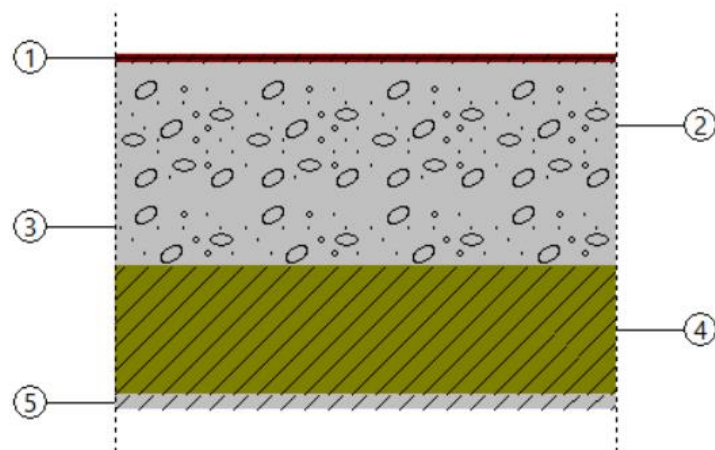
Figura 43: Composición del suelo de la vivienda por capas

Transmitancia térmica del suelo modelado = $1/2,282 = 0,438$ (W/m²K)

Transmitancia térmica límite del suelo en zona climática D según el CTE = 0,65 (W/m²K)

Como $0,438 < 0,65$ nuestro modelo de suelo es correcto.

- Cubierta



Capas
1 - F13 - Built-up roofing: 0.95 cm
2 - M14 - 150 mm heavyweight concrete: 15.24 cm
3 - F05 - Ceiling air space resistance: 9.00 cm
4 - I05 - 154 mm batt insulation: 15.44 cm
5 - F16 - Acoustic tile: 1.91 cm
Espesor total: 42.54 cm
Caracterización térmica
Coeficiente de transmisión térmica (refrigeración): 0.24 W/(m ² ·K)
Coeficiente de transmisión térmica (calefacción): 0.24 W/(m ² ·K)
Capacidad térmica: 107530.26 J/(m ² ·K)

Figura 44: Composición de la cubierta de la vivienda por capas

Transmitancia térmica de la cubierta modelada = 0,24 (W/m²K)

Transmitancia térmica límite de la cubierta en zona climática D según el CTE = 0,35 (W/m²K)

Como 0,24 < 0,35 nuestro modelo de cubierta es correcto.

**Se quiere insistir en que la elección de los materiales que forman las distintas capas de la envolvente no ha sido aleatoria. Los elementos se han escogido teniendo cierta coherencia e intentando imitar envolventes térmicas de otras viviendas de estudio. No obstante, no se va a profundizar en la selección de material ya que no es el objeto de este proyecto académico.*

❖ Cálculo automático de puentes térmicos y selección de emplazamiento

Los puentes térmicos son aquellos puntos de la fachada o cubierta en los que se transmite más fácilmente el calor que en el resto de la superficie. Esto puede ser porque estén formados por un material más conductor o porque se trate de un elemento que está en contacto a la vez con el aire exterior y el aire interior. Por ejemplo, si tenemos ventanas de metal, este metal en verano estará mucho más caliente que el muro de ladrillo ya que el metal es un material más conductor, así pues, toda la superficie de hierro se convertirá en puente térmico. El cálculo de los puentes térmicos de una vivienda es un tema en el que se puede profundizar mucho, no obstante, el software CYPETHERM LOADS ofrece la posibilidad de hacer un cálculo automático aproximado teniendo en cuenta los puentes térmicos que existirán en las aristas de nuestra envolvente. El resultado del cálculo de los puentes térmicos de la vivienda será el siguiente:

Referencia	Descripción	Psi
1. LFi [E]LosaSuelo [B]fachada(90)	GF6. Solera en contacto con el terreno.	0.600 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
2. LFs [G]azotea [B]fachada(90)	R2. Cubierta.	0.750 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
3. LWo [B]fachada [B]fachada(90)	C2. Esquina saliente.	0.100 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
4. TW [B]fachada [B]fachada(180) [C]tabiquerías(90)	Muro interior Este tipo de puente térmico no está contemplado por la norma. En este caso, se asume un valor por defecto para la transmitancia lineal.	0.500 Valor por defecto.
5. TW [C]tabiquerías [C]tabiquerías(180) [C]tabiquerías(90)	C4. Esquina saliente.	0.100 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
6. Ws [J]puerta [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	0.400 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
7. WI [J]puerta [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	0.400 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
8. Wi [K]v1 (105-110) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	0.400 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
9. Ws [K]v1 (105-110) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	0.400 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
10. WI [K]v1 (105-110) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	0.400 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.

11.	Wi [K]v1 (165-170) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
12.	Ws [K]v1 (165-170) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
13.	WI [K]v1 (165-170) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
14.	Wi [K]v1 (235-240) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
15.	Ws [K]v1 (235-240) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
16.	WI [K]v1 (235-240) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
17.	Wi [K]v1 (320-325) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
18.	Ws [K]v1 (320-325) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
19.	WI [K]v1 (320-325) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.
20.	Wi [K]v1 (470-475) [B]fachada	W17. Hueco para ventana o puerta.	Thermal bridges in building construction. 0.400 Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.

Figura 45: Resultado del cálculo de los puentes térmicos de la vivienda unifamiliar propuesta en CYPETHERM LOADS

Por último, deberemos introducir la ubicación de nuestra vivienda en el menú de datos de emplazamiento. Para ello escogeremos las ubicaciones “Europe” -> “Spain” -> “Zaragoza” disponibles en la base de datos de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE), que es la base de datos con las que trabaja el software.

Datos del emplazamiento

Emplazamiento: ZARAGOZA AB

Latitud: 41.67 ° Coeficiente de albedo: 0.20

Longitud: -1.04 ° Zona horaria: 1.0

Altitud: 263.00 m ☒ Horario de Verano (DST) Mes inicial: Abril Mes final: Octubre

Condiciones de diseño para calefacción

Temperatura seca: -0.9 °C Humedad relativa: 80.0 % Temperatura del terreno: 7.5 °C

Condiciones de diseño para refrigeración

Cálculo de cargas de refrigeración por mes	Temperatura seca de diseño (°C)	Temperatura húmeda coincidente (°C)	Oscilación diaria de la temperatura seca (°C)	Oscilación diaria de la temperatura húmeda (°C)	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación directa	Profundidad óptica del cielo despejado para la irradiación difusa
Enero	15.1	10.3	7.5	6.0	0.298	2.492
Febrero	17.3	10.8	9.4	6.7	0.313	2.452
Marzo	21.9	12.7	11.1	7.6	0.354	2.355
Abril	25.2	14.8	11.3	7.2	0.374	2.313
Mayo	29.9	17.7	12.1	6.8	0.389	2.304
Junio	34.8	20.1	13.3	6.6	0.399	2.304
Julio	36.2	21.4	14.0	6.5	0.387	2.328
Agosto	36.2	21.4	13.2	6.2	0.392	2.317
Septiembre	31.1	19.2	11.4	5.8	0.372	2.373
Octubre	26.0	17.1	9.8	5.5	0.349	2.445
Noviembre	18.6	13.1	8.0	5.6	0.316	2.491
Diciembre	15.1	10.7	7.4	5.6	0.298	2.499

Aceptar Cancelar

Figura 46: Interfaz de temperaturas asociadas a la ciudad de Zaragoza según la base de datos de ASHRAE

❖ Informe y resultados del cálculo de cargas térmicas

Una vez hemos introducido todos los datos comentados en los apartados anteriores, seremos capaces de realizar el cálculo de cargas térmicas para nuestra vivienda unifamiliar. Así pues, seleccionaremos el botón de “Cálculo de resultados” y exportaremos el informe obtenido en formato “.pdf” para su consulta y análisis. En este apartado comentaremos brevemente algunas tablas y gráficas sacadas del informe final de cargas térmicas.

- Calefacción

En la siguiente tabla podremos analizar los resultados más importantes extraídos del informe de cargas térmicas que utilizaremos para la elección de la bomba aerotérmica en el capítulo siguiente. Como se puede observar, la última columna representa las cargas térmicas de calefacción por estancia y totales de la vivienda en el día más crítico del año.

1.2.- Calefacción

Resumen de las cargas de calefacción de la zona: Zona 1											
	Externas				Ventilación			Totales			
	A (m²)	Conducción (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m²)	Total (W)
Carga máxima de calefacción por recinto											
Baño 2	6.8	619	12	52	6	41	174	55	887	137.72	942
Dormitorio 2	19.0	1057	12	52	6	41	174	55	1347	73.76	1403
Dormitorio 1	17.6	990	12	52	6	41	174	55	1278	75.75	1333
Baño 1	9.9	629	12	52	6	41	174	55	898	96.36	954
Cocina	12.8	924	12	52	6	41	174	55	1208	98.31	1263
Salón- Comedor	46.4	2276	12	52	6	41	174	55	2628	57.84	2683
Carga máxima simultánea de calefacción para el conjunto de recintos											
Zona 1	112.6				36			332 8245		76.19	8578

Figura 47: Resumen de las cargas térmicas de calefacción en la vivienda unifamiliar supuesta

El siguiente gráfico circular nos muestra de forma más intuitiva las cargas térmicas máximas de calefacción para cada recinto el día más crítico del año. Como podríamos imaginar, la carga térmica máxima la solicitará el salón-comedor debido a que es el recinto con más volumen y el que más hueco acristalado tiene y, de la misma forma, la carga térmica mínima la solicitaran los baños por el mismo motivo.

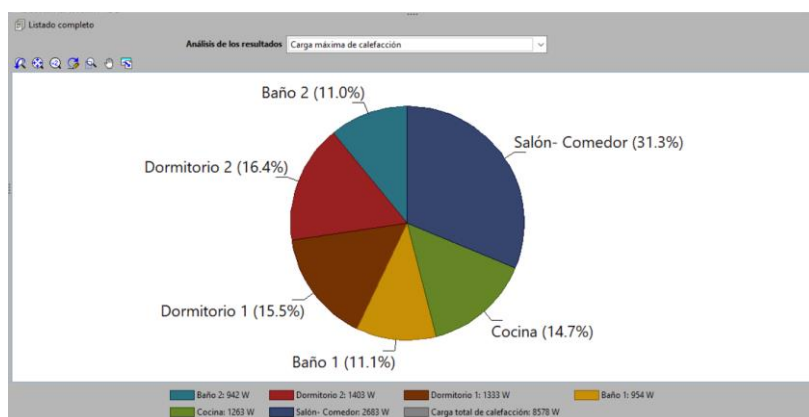


Figura 48: Gráfico circular. Cargas térmicas de calefacción en la vivienda unifamiliar supuesta

- Refrigeración

En la siguiente tabla podremos analizar los mismos datos que en el anterior caso referidos ahora a la refrigeración de la vivienda en vez de a la calefacción. Como se puede observar, la última columna representa las cargas térmicas de refrigeración por estancia y totales de la vivienda en el día más crítico del año.

1.1.- Refrigeración

Resumen de las cargas de refrigeración de la zona: Zona 1													
	Externas					Internas		Ventilación			Totales		
	A (m²)	Conducción (W)	Solar Inf. (W)	lat. Inf. sens. (W)	Inf. sens. (W)	Lat. Sens. (W)	Sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. Sens. (W)	Sens. (W)	Lat. Sens. (W)	Sens. (W)	Total (W/m²)
Carga máxima de refrigeración por recinto													
Baño 2	7	272	0	4	24	15	81	5	11	69	31	468	73
Dormitorio 2	19	453	570	4	24	39	211	5	10	61	56	1385	76
Dormitorio 1	18	438	409	4	24	36	196	5	10	61	53	1185	70
Baño 1	10	273	83	4	24	22	116	5	11	69	38	594	64
Cocina	13	419	785	4	24	27	143	5	10	61	43	1504	120
Salón-Comedor	46	961	390	4	24	104	544	5	11	69	125	2087	48
Carga máxima simultánea de refrigeración para el conjunto de recintos: 21 de Agosto a las 17h (15 hora solar aparente)													
Zona 1	112.6							27			335	7098	66.02
												7433	

Figura 49: Resumen de las cargas térmicas de refrigeración en la vivienda unifamiliar supuesta

Igual que en el caso de calefacción, el informe presentará un gráfico circular que muestre las cargas térmicas máximas de refrigeración para cada estancia de la vivienda.

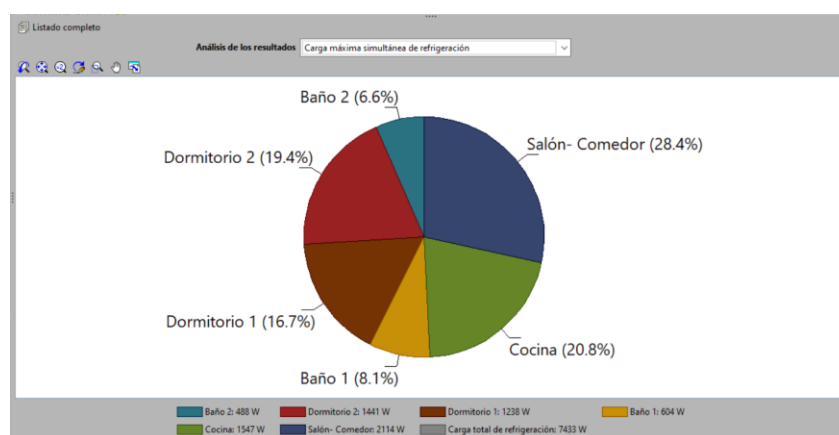


Figura 50: Gráfico circular. Cargas térmicas de refrigeración en la vivienda unifamiliar propuesta

En los siguientes histogramas podremos obtener información de le evolución de las cargas térmicas máximas de refrigeración de forma mensual (Figura 51) y horaria (Figura 52).

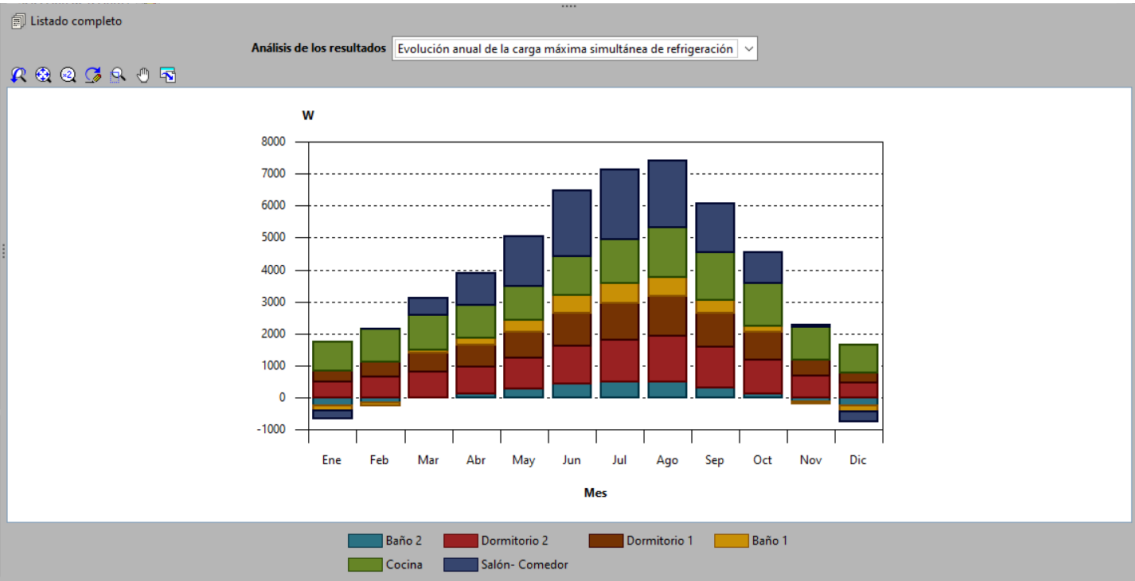


Figura 51: Histograma. Evolución anual de la carga térmica de refrigeración

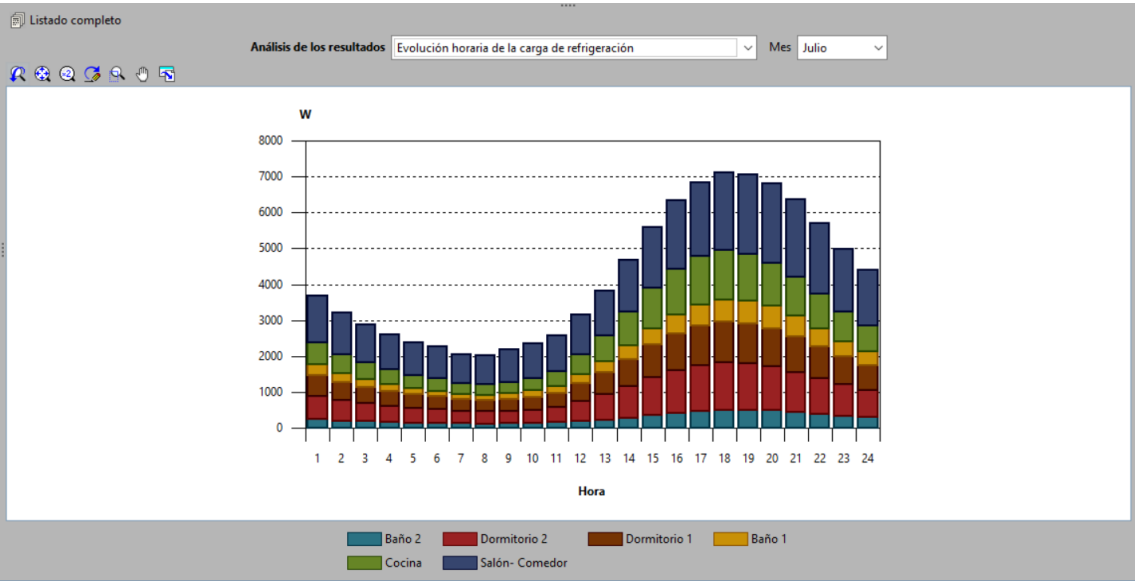


Figura 52: Histograma. Evolución horaria de la carga térmica de refrigeración

- Desglose de las cargas térmicas máximas según su origen

Por último, podemos analizar los histogramas referentes al desglose de las cargas máximas de refrigeración y calefacción según su origen. Estas gráficas son muy útiles ya que nos informan los factores que provocan las cargas térmicas más grandes en nuestra vivienda permitiéndonos escoger un plan de mejora efectivo para aumentar la eficiencia energética del domicilio.

Por ejemplo, en nuestra vivienda podemos observar que las mayores cargas térmicas tanto para refrigeración como para calefacción son debidas a la transmisión de calor en la envolvente (muros, suelo y cubierta). Estas cargas podríamos reducirlas mejorando la calidad del aislamiento de la envolvente o sustituyendo puertas y ventanas por otras menos conductoras.

A modo de propuesta, también podemos ver que, en el caso de la refrigeración, la segunda carga térmica más grande corresponde a la radiación solar. Este dato tiene mucha lógica ya que nuestra vivienda está orientada hacia el sur y además no hemos definido ningún perfil de sombras que cubija el domicilio por lo que todo apunta a que la radiación solar será un inconveniente importante en épocas calurosas. Para este caso quizás se podría proponer la introducción de una cámara de aire en la fachada orientada al sur que permita ventilar el interior del muro refrigerando la envolvente y reduciendo así la carga térmica debida a la radiación solar.

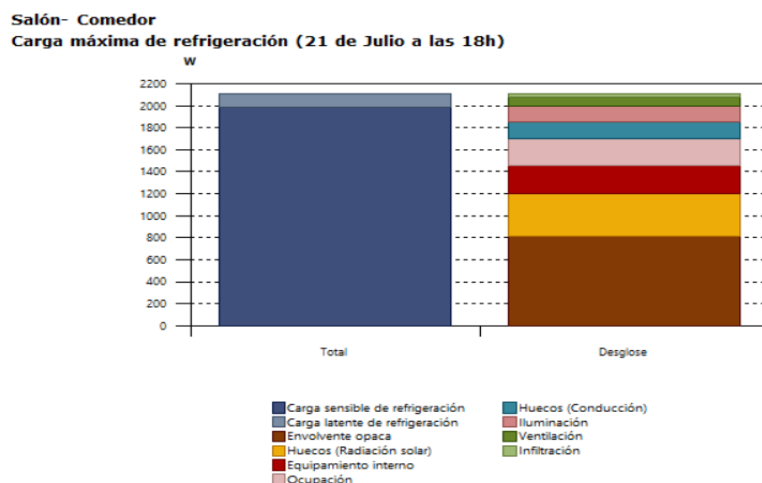


Figura 53: Histograma. Carga máxima de refrigeración para el día 21 de julio

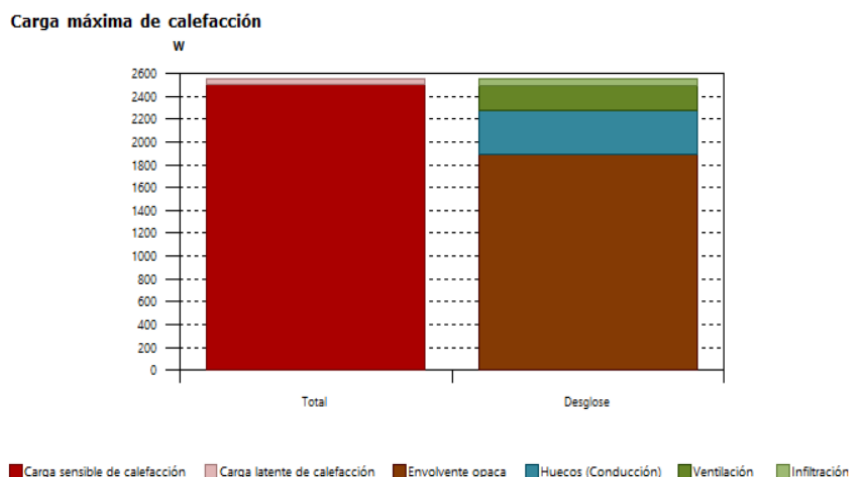


Figura 54: Histograma. Carga máxima de calefacción para el día 21 de diciembre

II.XI Cálculo de la potencia para producción de ACS de una vivienda unifamiliar

En general, los consumos de agua caliente sanitaria (ACS) se suelen concentrar en determinadas horas del día también conocidas como “periodos punta”. En el caso de las viviendas unifamiliares, existen varios periodos punta a lo largo de día. Por ejemplo, por la mañana y por la noche, las duchas y los inodoros producen un pico de consumo mientras que al mediodía también puede aparecer otro pico debido al uso del fregadero y lavavajillas.

Para obtener la demanda de ACS de un edificio deberemos que realizar una serie de cálculos simples según las instrucciones del documento básico DB-HE-4 de ahorro de energía del CTE [2]. Los edificios construidos a partir del 2020 también tendrán que cumplir con la exigencia básica HE-4 de contribución renovable mínima para ACS lo cual también se recoge en el mismo apartado del CTE.

❖ Cálculo del volumen de ACS mensual

Para comenzar, deberemos calcular el consumo diario de ACS por persona, para ello utilizaremos una tabla de referencia donde se encuentran estos consumos aplicados a distintos posibles usos de la edificación a analizar. Como en nuestro caso estamos trabajando con una vivienda unifamiliar, escogeremos el valor apropiado que nos ofrece la tabla, 28 Litros/día*unidad.

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	21	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Figura 55: Tabla de referencia del CTE de caudal de ACS por persona

Una vez tenemos este dato, lo deberemos de multiplicar por el número de individuos que habitarán nuestra vivienda. En nuestro caso, en el apartado de cargas térmicas hemos supuesto que el núcleo familiar que vivirá en la vivienda está formado por 4 personas, así pues, podremos obtener el consumo diario total de ACS de la vivienda.

$$28 * 4 = 112 \text{ L/día}$$

También podríamos encontrarnos en la situación de intentar dimensionar el consumo de ACS para una vivienda en la que no sabemos cuántas personas van a vivir. Para solventar este problema, el apartado 4.1.4 de la sección HE 4 del documento Básico HE del CTE [2] nos ofrece una tabla que relaciona el número de habitantes mínimo de la vivienda con el número de dormitorios de la misma.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 56: Tabla de referencia del CTE del número mínimo de ocupantes en función de los dormitorios de una vivienda

Con este dato calculado, podremos calcular la demanda de ACS mensual multiplicando el consumo diario por el número de días de cada mes obteniendo así la siguiente tabla de resultados:

<u>MES</u>	<u>LITROS/DÍA</u>	<u>DÍAS</u>	<u>LITROS/MES</u>
Enero	112	31	3472
Febrero	112	28	3136
Marzo	112	31	3472
Abril	112	30	3360
Mayo	112	31	3472
Junio	112	30	3360
Julio	112	31	3472
Agosto	112	31	3472
Septiembre	112	30	3360
Octubre	112	31	3472
Noviembre	112	30	3360
Diciembre	112	31	3472
<u>TOTAL</u>			40880

Figura 57: Tabla. Demanda de ACS mensual

❖ Cálculo de la demanda térmica mensual para el ACS

Con los distintos consumos de ACS mensuales en la mano, podremos calcular la energía térmica mensual necesaria para calentar el volumen que se ha estimado. Para ello utilizaremos la ecuación de la energía necesaria para realizar un salto térmico, en nuestro caso de la temperatura de suministro a la temperatura de referencia del CTE, 60°C:

$$Q = V * \rho * c_p * (T_{uso} - T_{red})$$

V es el valor del volumen de ACS demandado cada mes

ρ es el valor de la densidad del agua, 1 [kg/L]

c_p es el valor del calor específico del agua, 4,18 [kJ/kg°C]

T_{uso} es el valor de la temperatura de referencia del agua que marca el CTE, 60 [°C]

T_{red} es el valor de la temperatura a la que se suministra el agua

Mediante el uso de esta ecuación, calcularemos la demanda térmica para cada mes del año y la reflejaremos en una tabla para observar su evolución:

MES	LITROS/MES	T(RED)	Q [kJ/mes]	Q [kWh/mes]
Enero	3472	5	798212,8	221,72
Febrero	3136	6	707857,92	196,62
Marzo	3472	8	754673,92	209,63
Abril	3360	10	702240	195,06
Mayo	3472	11	711135,04	197,53
Junio	3360	12	674150,4	187,26
Julio	3472	13	682109,12	189,47
Agosto	3472	12	696622,08	193,50
Septiembre	3360	11	688195,2	191,16
Octubre	3472	10	725648	201,56
Noviembre	3360	8	730329,6	202,86
Diciembre	3472	5	798212,8	221,72

Figura 58: Tabla. Demanda térmica mensual para ACS

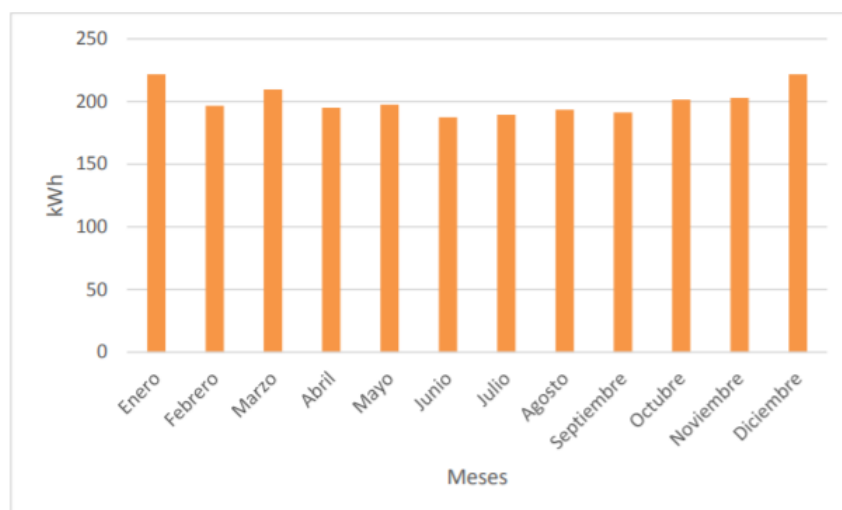


Figura 59. Histograma. Demanda térmica mensual para ACS

❖ Cálculo de la potencia para el ACS

Para calcular la potencia necesaria para calentar el ACS el factor más importante será el volumen del depósito de acumulación elegido. En el primer punto de este apartado hemos visto que las necesidades volumétricas de ACS de la vivienda para la familia de 4 personas eran de 112 litros diarios. Con el objetivo de mantener un margen de seguridad y evitar que la vivienda se quede sin agua caliente en un día de consumo elevado, se elegirá un depósito de 150 litros. Con este dato, podremos calcular la potencia necesaria mensual para calentar el depósito entero mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V * c_p * \rho * (T_{uso} - T_{red})}{t}$$

V es el valor del volumen del depósito de ACS, 0,15 [m³]

ρ es el valor de la densidad del agua, 997 [kg/m³]

c_p es el valor del calor específico del agua, 4,18 [kJ/kg°C]

T_{uso} es el valor de la temperatura de referencia del agua que marca el CTE, 60 [°C]

T_{red} es el valor de la temperatura a la que se suministra el agua

t es el valor del tiempo (tomaremos que el depósito se tiene que calentar en 1 hora y media) [s]

Igual que hemos hecho en el apartado anterior, podríamos hacer una tabla en la que se reflejaran las potencias térmicas mensuales de todo el año, no obstante, actuando con lógica, podemos intuir que la potencia que más nos interesa será la del mes más crítico del año, es decir, enero. Así pues, realizando el cálculo obtendremos que la potencia máxima necesaria para calentar el depósito de 150 litros de ACS será de **6,367 kW**.

II.XII Potencia total de climatización y ACS

Una vez hemos realizado el cálculo de cargas térmicas de la vivienda y el cálculo de la demanda de ACS seleccionaremos los dos datos necesarios para el dimensionamiento del sistema de aerotermia de la vivienda, las potencias de climatización y calefacción del ACS para el momento más crítico del año.

Climatización	8,578 [kW]
ACS	6,367 [kW]
<u>TOTAL</u>	14,945 [kW]

Figura 60. Tabla. Potencias de climatización, ACS y total

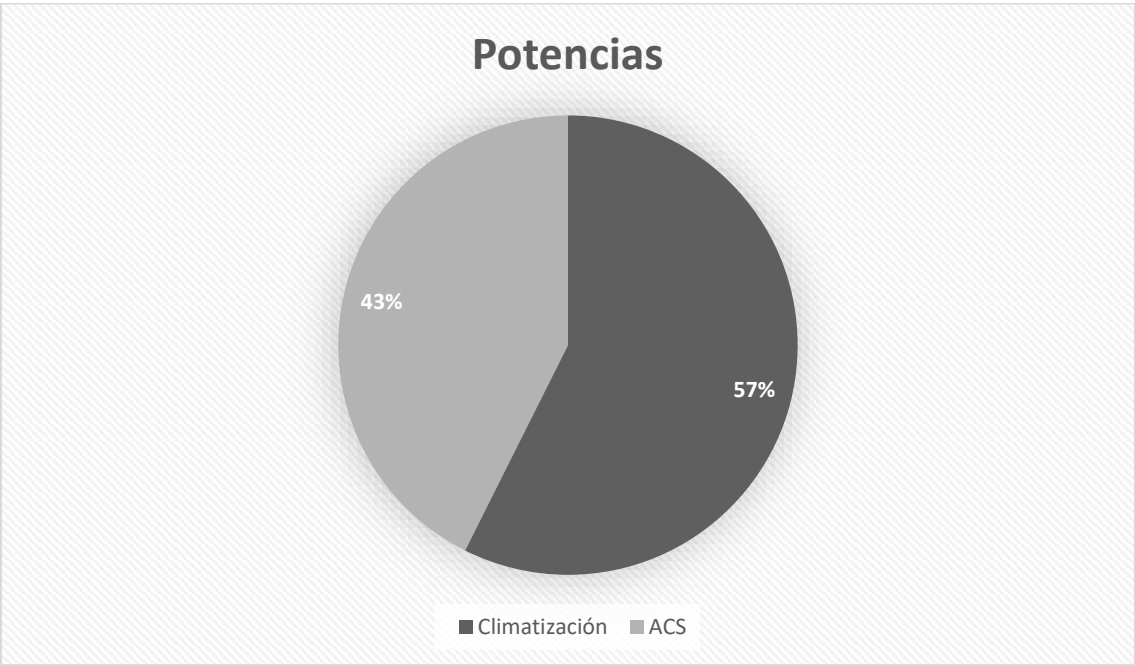


Figura 61. Gráfico circular. Potencias de climatización y ACS

II.XIII Elección de la bomba de calor

Llegados a este punto, el último paso del dimensionamiento del sistema consistirá en elegir la bomba adecuada para satisfacer las necesidades de climatización y ACS de la vivienda. Como hemos calculado en los puntos anteriores, la potencia necesaria para la climatización será de 8,578 kW y la necesaria para el ACS será de 6,367 kW. Es importante saber que estos consumos no se van a solapar en ningún momento del día, es decir, cuando funcione la climatización, no lo hará la calefacción del ACS y viceversa. De hecho, en la mayoría de edificaciones lo más usual es que el acondicionamiento del ACS tenga una prioridad más alta que la climatización ya que es una necesidad más importante para el uso de las personas. De esta forma, si nuestro sistema de climatización está en funcionamiento y, por el motivo que sea, es necesario calentar el depósito de ACS, la bomba de calor dejará de aportar energía térmica al sistema hidráulico para priorizar el acondicionamiento del ACS.

Sabiendo que la climatización y la calefacción de ACS son procesos que no se van a solapar, el dimensionamiento lógico de la bomba de calor necesaria para llevar a cabo ambas tareas requerirá que nos centremos en la potencia máxima necesaria para llevar a cabo cada uno de los procesos. Como podemos observar en el gráfico circular de la página anterior, el proceso de climatización de la vivienda requerirá una potencia mayor por lo que dimensionaremos la bomba en función de la potencia necesaria para esa tarea. En nuestro caso concreto, la potencia necesaria para climatizar la vivienda es de 8,578 kW por lo que necesitaremos una bomba de una potencia nominal superior para poder satisfacer la demanda térmica de la vivienda sin quedarnos cortos los días más críticos del año.

Como ya comentamos en el *“Anexo I”*, la principal marca proveedora de la empresa SUMICAR-PROPIBSA, entidad colaboradora de este proyecto, es SAUNIER DUVAL, marca líder en España en cuanto a calefacción y refrigeración. Por este motivo, las bombas que se propondrán son todas de la marca SAUNIER DUVAL ya que creemos que tanto sus productos, como su atención al cliente y mantenimiento son de calidad y están avalados por años de experiencia como empresa puntera en el sector.

Recordando la gama de productos de la marca que se presentó en el capítulo anterior, el buque insignia de SAUNIER DUVAL en cuanto a sistemas aerotérmicos es la bomba de calor Genia Air, una bomba de calor aerotérmica capaz de generar calefacción, ACS y refrigeración. Retrocediendo al *“Anexo I”*, se explicó que la Genia Air tenía dos tipos de configuraciones; compacta (sólo unidad exterior) o split (unidad exterior e interior). La elección del tipo de tecnología de bomba de calor depende de las características del proyecto, las particularidades de la edificación y las necesidades y preferencias tanto del cliente como del instalador. En el presente proyecto escogeremos, por ejemplo, la tecnología compacta.

Dentro de la gama de Genia Air compacta, en función de la potencia a elegir, existen cuatro modelos: 5, 8, 11 y 15 kW. En nuestro caso, la demanda térmica a cubrir será de 8,578 kW por lo que lo lógico sería utilizar la bomba de calor de 11 kW. Precisamente cuando nos movemos en este rango de potencias tan típico de viviendas unifamiliares puede haber varias opciones disponibles. Para las necesidades de nuestra vivienda también podríamos considerar la opción de colocar la bomba de 8 kW ya que sabemos que la demanda térmica que hemos calculado es para el día más frío del año. Mediante esta elección sabemos que prácticamente todos los días del año la bomba de calor va a proporcionar una potencia suficiente para satisfacer las demandas térmicas de la vivienda, sin embargo, en días muy fríos de invierno quizás se quede corta y no pueda aportar el calor necesario para la temperatura de diseño interior que permite

el confort máximo en la vivienda. Para paliar este problema, la marca ofrece la posibilidad de implementar una resistencia de apoyo tanto en el depósito de inercia que impulsa el agua que circula por el suelo radiante como en el depósito de ACS. Esta resistencia de apoyo, encargada de transformar energía eléctrica en térmica para calentar ambos depósitos, se pondrá en marcha en los momentos del año en los que el sistema de control detecte que la bomba de calor no es capaz de provocar el salto térmico necesario para alcanzar la temperatura interior y de ACS necesaria. Además, la implementación de resistencias de apoyo es muy recomendable ya que en el caso en el que la bomba de calor se averíe, la vivienda podrá seguir disponiendo de ACS y climatización, aunque de forma más cara y precaria.

Concluyendo el anexo, finalmente elegiremos la opción de 11 kW ya que, aunque es más cara, nos ofrece un margen de seguridad mayor frente a temperaturas muy críticas.

Bomba de calor Genia Air



Genia Air	Ud.	5	8	11	15
Pack MiPro inalámbrico	Ref.	0010023078	0010023079	0010023080	0010023081
Pack MiPro cableado	Ref.	0010023074	0010023075	0010023076	0010023077
Eficiencia impulsión 35 °C		A++	A++	A+	A++
Eficiencia impulsión 55 °C		A+	A++	A+	A+
Alimentación		230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz	230 V / 50 Hz
Límite de func. mín / max (en calefacción)	°C	-15 / 28	-20 / 28	-20 / 28	-20 / 28
Límite de func. mín / max (en refrigeración)	°C	10 / 46	10 / 46	10 / 46	10 / 46
Ida 35 °C, retorno 30 °C, temp. seca 7 °C					
Potencia de calefacción nominal / máx.	kW	4,4 / 7,2	7,7 / 9,5	10,6 / 11,3	14,6 / 16,6
COP nominal / carga parcial		4,7 / 5,1	4,6 / 4,8	4,3 / 4,5	4,5 / 4,5
Intensidad eléctrica nominal	A	4	7,72	12,04	14,8
Ida 18 °C, retorno 23 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia de refrigeración nominal / máx.	kW	4,4 / 6,2	7,6 / 8,1	10,5 / 11,1	13,7 / 14,9
EER nominal / carga parcial		3,4 / 5	3,6 / 4,3	3,4 / 5,6	3,2 / 4,1
Intensidad eléctrica nominal	A	6,1	10,61	15,69	19,1
Ida 7 °C, retorno 12 °C, temp. seca 35 °C					
Potencia nominal de refrigeración	kW	3,60	5,50	7,90	10,80
Potencia alcanzable en régimen permanente	kW	-	-	8,30	12,00
Consumo eléctrico nominal	kW	1,30	1,90	2,82	4,50
EER nominal		2,40	2,90	2,80	2,50
EER alcanzable a carga parcial		3,50	3,00	4,20	3,00
Intensidad eléctrica nominal	A	5,90	8,60	13,38	19,60
Circuito frigorífico					
Refrigerante / carga	- / kg	R-410A / 1,8	R-410A / 1,95	R-410A / 3,53	R-410A / 4,4
Circuito hidráulico					
Presión mín./máx.	bar	1 / 3	1 / 3	1 / 3	1 / 3
Caudal de agua máx.	l/h	860	1.400	1.900	2.590
Volumen mínimo de agua	l	17	21	35	60
Presión disponible	mbar	640	450	300	370
Otras características técnicas					
Intensidad máxima absorbida	A	16	16	20	25
Temperatura máxima de ACS	°C	60	63	63	63
Máximo caudal de aire	m³/h	2.000	2.700	3.400	5.500
Presión acústica A _{7W35} *	db(A)	44	46	51	51
Dimensiones (Alto/Ancho/Profundo)	mm	800 / 980 / 360	942 / 1103 / 415	942 / 1103 / 415	1340 / 1103 / 415
Peso neto	kg	86	102	126	165
Conexiones circuito hidráulico	Pulg.	1,25	1,25	1,25	1,25

(*) En campo llano a 2 metros

Figura 62: Ficha técnica de la bomba de calor Genia Air compacta [8]

Anexo III

LA FOTOVOLTAICA

III.I Introducción a la fotovoltaica

III.I.I La energía solar

La energía producida por el Sol representa casi la totalidad de la energía disponible en nuestro planeta. Esta energía se origina gracias a las reacciones de fusión nuclear que ocurren en el astro rey mediante las cuales el hidrógeno se transforma en helio. Estas reacciones son tremendamente exotérmicas y liberan cantidades ingentes de energía al espacio en forma de radiación de materia la cual está compuesta por protones y electrones acelerados y radiación electromagnética, parte de la cual penetra en la atmósfera terrestre. En función de su longitud de onda, la radiación electromagnética liberada por la pérdida de masa del Sol se puede dividir en distintos tipos de ondas. La Figura 1 se conoce como espectro electromagnético y agrupa los diferentes tipos de radiación electromagnética de mayor a menor longitud de onda, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma.

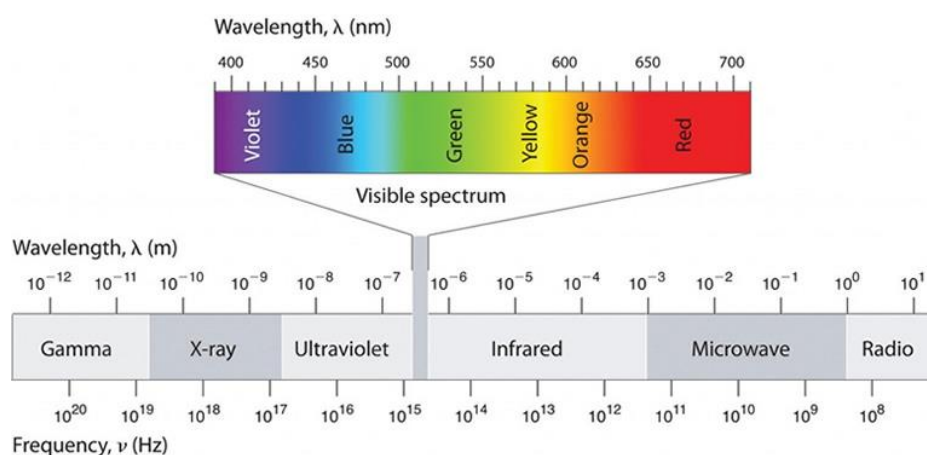


Figura 1: Espectro electromagnético

A pesar de la gran cantidad de radiación electromagnética que emite el Sol, a nuestro planeta solo llega una pequeña parte de este espectro electromagnético. La atmósfera terrestre actúa como un impermeable frente a la mayor parte de energía solar que incide en la Tierra, no obstante, tiene dos ventanas en las que sí que permite el paso de la radiación. La primera abarca el rango de longitud de onda desde 10^{-2} hasta 10^2 metros, rango en el cual se encuentra la radiación microondas y las ondas de radio. La segunda abarca el rango de longitud de onda desde 0,3 a 5 micrómetros, rango en el cual se encuentra la radiación ultravioleta, la radiación infrarroja y la luz visible. La atmósfera bloquea por completo la radiación más energética, o de menor longitud de onda, provocada por el Sol, es decir, los rayos x y los rayos gamma.

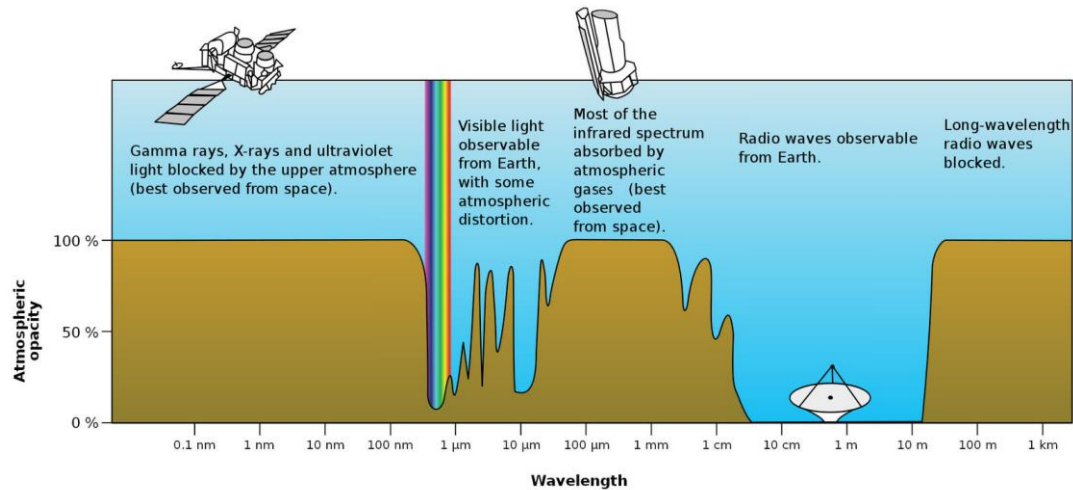


Figura 2: Opacidad de la atmósfera para las distintas longitudes de onda de la radiación solar

Sin embargo, pese a la existencia de estas dos ventanas de paso de radiación solar por la atmósfera, del total de la energía solar que llega a la capa exterior atmosférica, solamente un 47,4% alcanza la superficie terrestre. Esta pérdida energética se debe principalmente a dos procesos que ocurren en la atmósfera, la refracción, que cambia el ángulo de la onda electromagnética, y la absorción, que convierte la radiación solar en otro tipo de energía la cual suele ser calor. La radiación solar que podemos captar en la superficie terrestre, también llamada irradiancia, se puede dividir en tres tipos en función de su trayectoria; la radiación directa es la que sigue una trayectoria recta desde el sol hasta nuestro sistema de captación solar, la radiación difusa es la absorbida y difundida por los gases presentes en la atmósfera y la radiación reflejada es la que rebota en superficies para posteriormente dirigirse al captador.

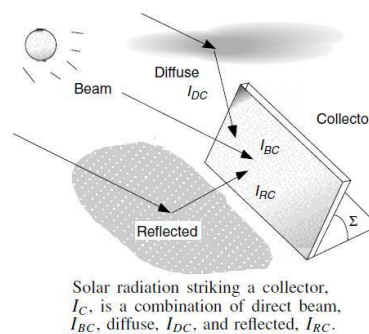


Figura 3: Ejemplo gráfico de radiaciones directa, difusa y reflejada

De estas tres tipologías de radiación terrestre, la difusa depende de las condiciones ambientales, especialmente de la nubosidad, la reflejada depende del porcentaje de albedo presente en la zona, el cual cuantifica la cantidad de elementos capaces de reflejar las ondas y, por último, la radiación directa, que es la más interesante, depende de los siguientes factores solares:

- Ángulo de declinación (δ): Es el ángulo que forman los rayos procedentes del Sol con el plano ecuatorial terrestre.
- Acimut solar (γ): Es el ángulo medido en el plano horizontal formado por el Sol y la dirección sur, en el caso de encontrarnos en hemisferio norte. En el hemisferio sur la referencia se toma con la dirección norte.
- Elevación solar (α): Es el ángulo medido en el plano vertical formado por los rayos del Sol con respecto a la horizontal.

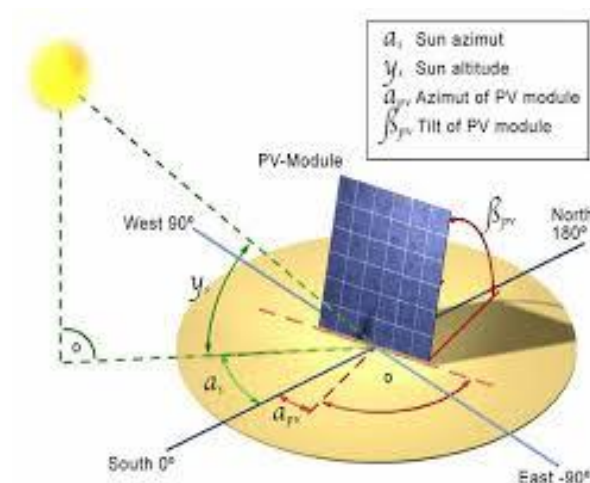


Figura 4: Ejemplo gráfico de la elevación y el acimut solar

De una forma u otra, la mayoría de las fuentes renovables tienen su origen en la energía solar, por ejemplo, la energía eólica transforma la energía cinética de las corrientes de aire en la atmósfera en electricidad mediante el uso de grandes turbinas eólicas. Esta energía cinética presente en el viento, es generada por una diferencia de temperatura y presión del aire provocada por la radiación que emite la estrella central del Sistema Solar. El caso más claro y directo de uso de energía solar es el de la energía fotovoltaica, la cual convierte la radiación solar en electricidad mediante el uso de materiales semiconductores.

III.I.II La energía solar fotovoltaica – Efecto fotovoltaico

La transformación de la radiación solar en energía eléctrica se basa en el efecto fotovoltaico, proceso que se lleva a cabo mediante unos dispositivos conocidos como células solares. Estas células aprovechan las propiedades eléctricas de los materiales semiconductores para realizar la conversión de energía lumínica en electricidad. En el caso de los paneles solares, normalmente el semiconductor utilizado es el silicio, el cual dispone de cuatro electrones en su última capa (capa de valencia) a nivel atómico. Para completar esta última capa, los átomos de silicio comparten uno de sus cuatro electrones de valencia con otros cuatro átomos mediante enlaces covalentes, fuertes y estables.

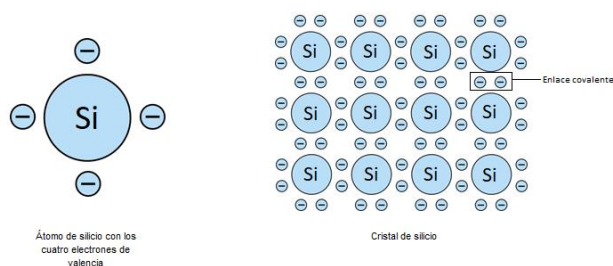


Figura 5: Estructura atómica del silicio

En un material semiconductor expuesto a radiación solar, las partículas energéticas de la luz conocidas como fotones inciden en los átomos del cristal arrancando los electrones y creando huecos en estos átomos excitados del cristal. En condiciones normales, los electrones encuentran rápidamente otros huecos donde recolocarse liberando así la energía absorbida del fotón en forma de calor, no obstante, en el caso de una célula fotovoltaica este fenómeno se intenta evitar en la medida de lo posible. El principio básico de funcionamiento de una célula fotovoltaica es forzar tanto a los electrones excitados como a los huecos formados a desplazarse hacia los lados opuestos del material en lugar de simplemente recombinarse en él. De esta forma se produce una diferencia de potencial entre los dos extremos del cristal la cual da lugar a una corriente eléctrica.

Para lograr este fenómeno, es necesario dopar el silicio, es decir, impurificar el material de forma controlada con elementos concretos. Por un lado de la célula de silicio se añaden átomos de fósforo, que al tener cinco electrones en su capa de valencia, otorgan un exceso de electrones a esa parte de la oblea, a esto se le denomina dopado tipo n. Por el contrario, si por el otro lado se añaden al cristal átomos de boro, los cuales tienen tres electrones en su capa de valencia, otorgarán un exceso de huecos a la oblea dando lugar a un dopado de tipo p. Entendiendo esta estructura, los electrones del lado n emigrarán para llenar los huecos del lado p dejando el primer lado con una carga neta positiva. A su vez, los huecos del lado p viajarán al lado n dejando el lado p con una carga neta negativa. Este proceso, que tendrá lugar de forma prácticamente instantánea, formará una barrera en la que existirá un campo eléctrico desde el lado n (positivo) hacia el lado p (negativo) por lo que, a efectos prácticos, tendremos un diodo el cual solamente permitirá el flujo de electrones del lado n al lado p.

Una vez tengamos una incidencia constante de fotones, por ejemplo, en el lado p, éstos excitarán los átomos de silicio liberando electrones y dejando atrás huecos. Si este proceso ocurre cerca de la barrera, el campo eléctrico acelerará los electrones hacia el lado n y repelerá a los huecos de vuelta al lado p por lo que se creará una carga negativa en el lado n debido a un exceso de electrones y una carga positiva en el lado p debido a un exceso de huecos (si los fotones inciden en el lado p de la oblea, el proceso será el mismo pero a la inversa). Una vez tenemos esta diferencia de potencial, podremos aprovechar conectando ambos lados de la oblea mediante un cable exterior para que exista un flujo de electrones desde el lado n hacia el lado p y aprovecharlo para realizar trabajo en una carga exterior. En la siguiente figura podremos observar la estructura de un semiconductor dopado y la variación de cargas, campo eléctrico y potencial a lo largo de su posición.

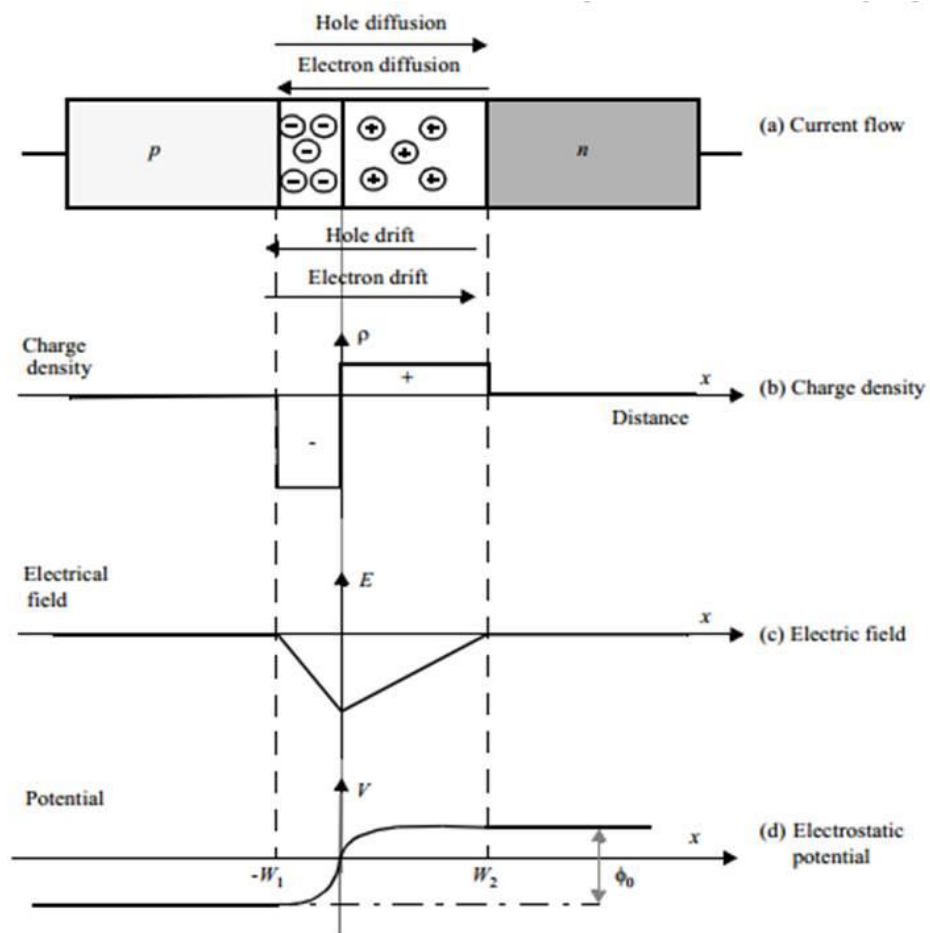


Figure 3.2 The abrupt pn -junction under equilibrium bias.

Figura 6: Diferencias de carga, campo eléctrico y tensión a lo largo de un material semiconductor dopado

Si representamos la estructura que hemos comentado de una célula solar mediante un circuito eléctrico equivalente obtendríamos el representado en la Figura 7. Sin embargo, teniendo en cuenta la resistencia del propio semiconductor con el que se fabrica la célula y las imperfecciones en la calidad de la unión p-n, surge una resistencia serie y paralelo que se deben de añadir al esquema eléctrico dando lugar al de la Figura 8.

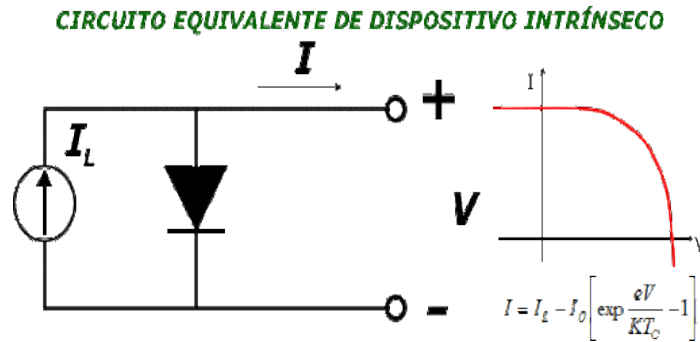


Figura 7: Esquema eléctrico básico de una célula fotovoltaica

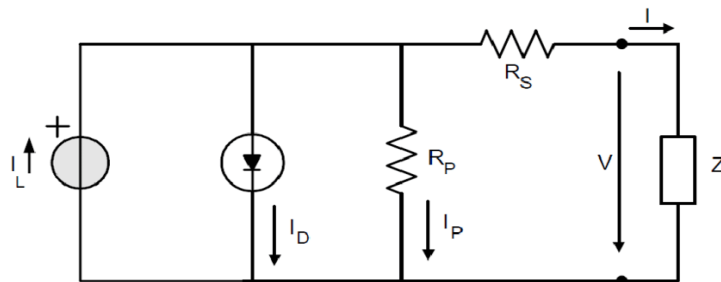
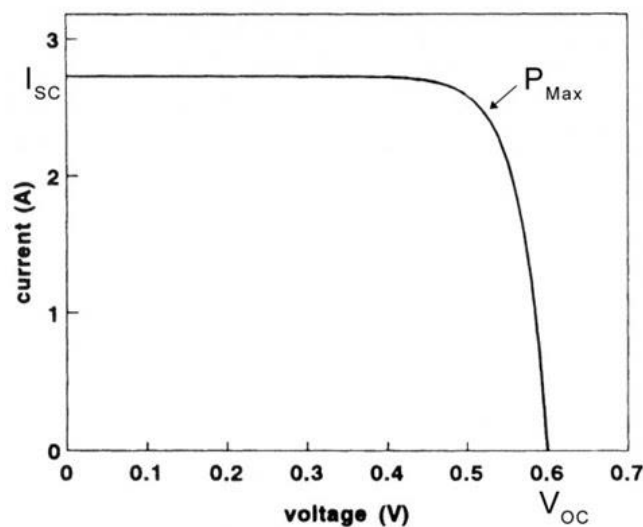


Figura 8: Esquema eléctrico básico de una célula fotovoltaica con resistencias serie y paralelo

Si representamos la tensión entre los lados n-p de la célula en el eje de ordenadas y la intensidad que circula por el circuito en el eje de abscisas, obtendremos la curva de funcionamiento de una célula fotovoltaica.



Figural 9: Curva de funcionamiento de una célula fotovoltaica

Existen varios parámetros importantes a tener en cuenta en el estudio del funcionamiento de las células fotovoltaicas; la intensidad de cortocircuito, la tensión de circuito abierto y la potencia máxima:

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): Será la corriente máxima posible, la cual se obtendrá para condiciones de cortocircuito, es decir, tensión nula.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): Será la tensión máxima posible, la cual se obtendrá para condiciones de circuito abierto, es decir, intensidad nula.
- Potencia máxima: Será la potencia correspondiente al resultado máximo del producto entre la tensión y la intensidad de la célula. Esta tensión e intensidad también son parámetros importantes y se denominan tensión a máxima potencia (V_{mpp}) e intensidad a máxima potencia (I_{mpp}).

Los parámetros eléctricos que acabamos de ver dependen de diversos factores que, a su vez, alterarán la forma de la curva de funcionamiento de la célula fotovoltaica. Por ejemplo, una mayor irradiancia solar aumentará los valores de tensión e intensidad desplazando la curva hacia arriba (Figura 10), mientras que, una mayor temperatura de funcionamiento de la célula disminuirá estos valores (principalmente la tensión) desplazando la curva de funcionamiento hacia valores más bajos (Figura 11).

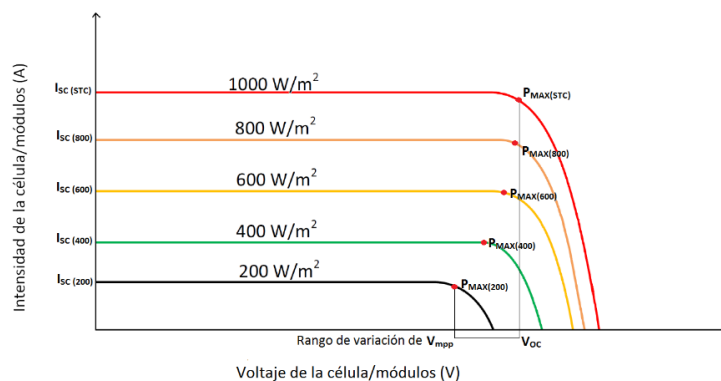


Figura 10: Curva de funcionamiento de una célula fotovoltaica en función de la irradiancia

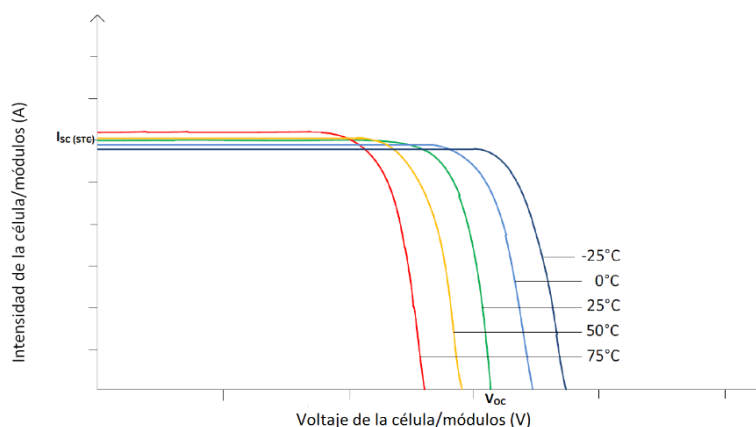


Figura 11: Curva de funcionamiento de una célula fotovoltaica en función de la temperatura

III.II Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica

Como energía renovable, la fotovoltaica supone una forma limpia y sostenible de producir energía. A pesar de esto, también es importante destacar las desventajas que tiene por sí sola o frente a otros tipos de generación de energía.

❖ Ventajas de la energía fotovoltaica

La principal ventaja de la energía fotovoltaica es que se trata de una fuente de energía renovable y sostenible que reduce la huella de carbono de manera muy significativa ya que no genera gases de efecto invernadero ni contamina durante su uso. Por este motivo, la energía fotovoltaica disminuye la necesidad de utilizar combustibles fósiles y ayuda a preservar los recursos naturales del planeta.

Otro factor positivo es que el hecho de que la luz solar es abundante y está disponible prácticamente en cualquier punto geográfico por lo que el empleo de módulos fotovoltaicos es recomendable para usuarios de muchos países. Además, al usar energía solar, se potencia la seguridad energética reduciendo la dependencia de suministros del exterior.

En cuanto al aspecto económico, a pesar de que la inversión inicial es importante, la totalidad de sistemas fotovoltaicos construidos son rentables a medio plazo, siempre teniendo en cuenta que se haga un dimensionamiento correcto. Así pues, la instalación de módulos fotovoltaicos en una vivienda, nave, polígono, etc., siempre va a provocar un ahorro en el bolsillo del usuario.

❖ Desventajas de la energía fotovoltaica

Una de las desventajas principales es que, actualmente, los módulos fotovoltaicos tienen unas eficiencias relativamente bajas en cuanto a la energía eléctrica que pueden convertir, la cual es alrededor de un 18%. Sin embargo, conforme avance el desarrollo e investigación se irá logrando un aumento positivo en los rendimientos.

Por otro lado, ya hemos comentado que la energía solar no es constante, ya que fluctúa a lo largo del día y por la noche no está disponible. Para evitar esta desventaja habría que recurrir al almacenamiento de energía. Además, su efectividad es menor durante los meses invernales. A esto le tenemos que sumar que el rendimiento de los módulos fotovoltaicos puede disminuir en determinadas condiciones atmosféricas, como largos periodos de calor y humedad o con nubes y niebla.

Por último, en el aspecto económico, a pesar de ser sistemas rentables, requieren una inversión inicial mucho más elevada que cualquier otro tipo de instalaciones por lo que no son accesibles para todo el mundo.

III.III Tipologías de sistemas fotovoltaicos

En este apartado estudiaremos los tres posibles tipos de sistemas fotovoltaicos que se pueden dar en el ámbito doméstico. Realmente, la adición de generadores de energía adicionales (de gasoil, eólicos, de biomasa, etc.) puede dar lugar a multitud de otras tipologías, sin embargo, por no alargar el proyecto, se presentarán las más comunes en el sector residencial.

III.III.I Sistemas aislados de la red

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red tienen como característica principal que no están conectados a un suministro comercializado de red eléctrica. Generalmente esto suele ocurrir en zonas rurales remotas donde la conexión a la red eléctrica no es posible o requiere de la construcción de una infraestructura muy costosa.

Este tipo de sistemas normalmente están constituidos por un sistema de generación fotovoltaico que produzca la electricidad, un sistema de baterías que la almacene, un regulador de carga encargado de controlar la profundidad de carga y descarga de las baterías y un inversor cuyo objetivo es la conversión de la electricidad producida y almacenada en corriente continua a corriente alterna. Hay que tener en cuenta que, en estos sistemas, el único método de producción de energía es el generador fotovoltaico el cual depende de la irradiancia solar. Pueden existir situaciones a lo largo del año en las cuales la irradiancia no sea la suficiente para abastecer la vivienda, por este motivo, se suelen instalar generadores complementarios que funcionan con combustibles fósiles para así asegurar la producción eléctrica hasta en las épocas más críticas del año.

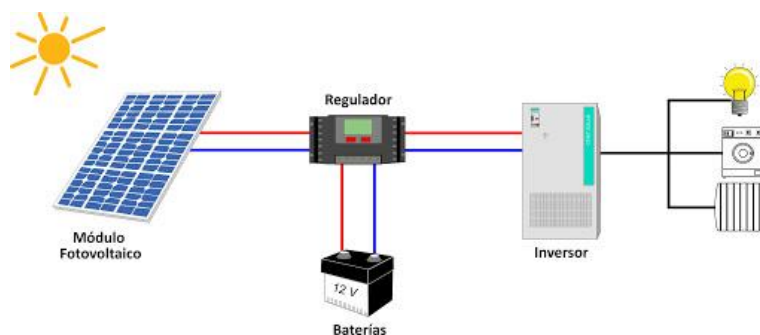


Figura 12: Esquema básico de un sistema fotovoltaico aislado de la red

Hay que tener en cuenta que, por condiciones climatológicas concretas como la niebla, es posible que los paneles fotovoltaicos no sean capaces de producir energía durante uno o varios días. Por este motivo el apartado más importante del diseño de este tipo de instalaciones es el dimensionamiento del sistema de baterías, el cual tiene que ser capaz de suministrar energía eléctrica a la vivienda en los días en los que la producción fotovoltaica no sea suficiente. Para dimensionar este tipo de instalaciones se pueden utilizar, por ejemplo, los métodos del peor mes, el cual analiza las condiciones más desfavorables posibles, o el método de la probabilidad de fallo en el consumo, el cual trata de garantizar el consumo energético de la forma más fiable posible durante un varios años.

III.III.II Sistemas conectados a la red

A diferencia de los anteriores, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red están enchufados a un suministro legalizado de energía eléctrica por lo que los usuarios de este tipo de instalaciones no tienen la preocupación de quedarse sin electricidad en momentos de climatología difícil. Por este motivo, éstos junto a los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo son los sistemas más utilizados en el sector residencial en nuestro país.

Este tipo de sistemas están formados por un equipo de generación fotovoltaico encargado de producir la electricidad, un inversor que convierte la corriente continua producida en corriente alterna y un medidor que contabiliza la energía eléctrica absorbida de la red y vertida a ella. Esta última parte del sistema es variable y depende de la modalidad de autoconsumo que elija el usuario. Como ya hemos explicado en el apartado de autoconsumo, en el caso de que el cliente se acoja a una modalidad de autoconsumo sin excedentes, deberá instalar en esta parte del circuito un dispositivo antivertido que impida el flujo de energía desde el sistema generador a la red eléctrica. Por otro lado, en el caso de que se acoja a una modalidad de autoconsumo con excedentes, bastará con un medidor como el que acabamos de comentar.

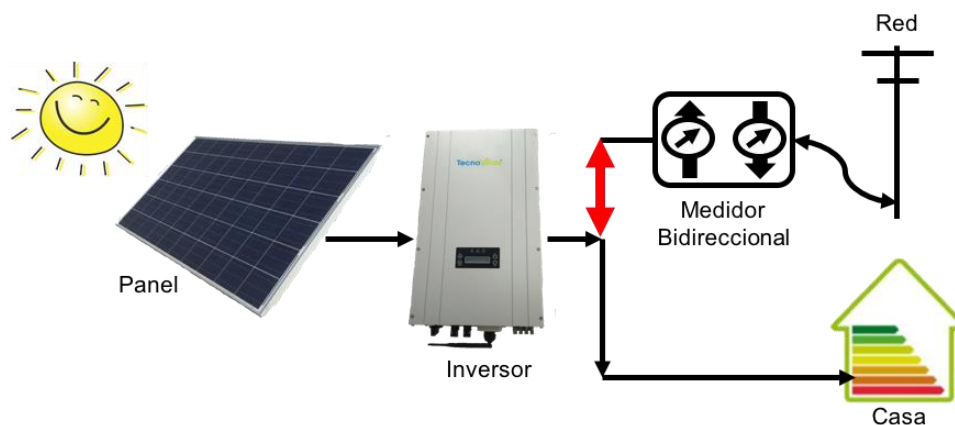


Figura 13: Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red

III.III.III Sistemas conectados a la red con baterías de apoyo

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo se pueden considerar como unos sistemas híbridos intermedios entre ambas tipologías ya expuestas. Esencialmente, son sistemas conectados a un suministro eléctrico a los cuales se les añade una red de baterías para almacenar la energía producida por el generador fotovoltaico y posteriormente utilizarla cuando la demanda de la vivienda lo requiera.

En este tipo de sistemas están presentes todos los componentes que hemos visto en las otras dos tipologías; generadores fotovoltaicos, inversores, baterías, reguladores de carga y medidores bidireccionales.

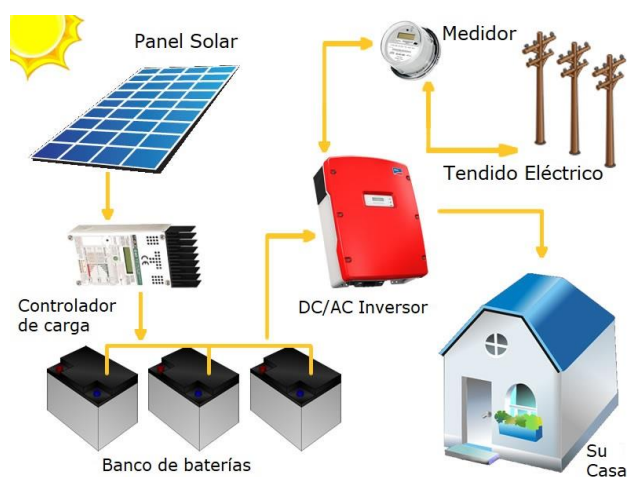


Figura 14: Esquema básico de un sistema conectado a la red con baterías de apoyo

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo actualmente son los más eficientes y los que más ahorro producen del mercado ya que son capaces de almacenar la energía que producen los generadores fotovoltaicos en horario solar para posteriormente utilizarla en momentos del día en los que éstos no sean capaz de generar la electricidad necesaria para cubrir la demanda doméstica. Además, al estar conectados a la red, se aseguran de que en temporadas climatológicas difíciles el suministro eléctrico no se corte. Esta tipología es la más interesante para un usuario que desee tener la factura eléctrica más baja posible ya que, con un correcto dimensionado del sistema de baterías, toda la demanda energética de la vivienda se puede satisfacer con la electricidad generada por los paneles solares. Sin embargo, a pesar de que el ahorro que producen es mayor, si los comparamos con los sistemas conectados a red sin baterías, la inversión necesaria para la puesta en marcha de la instalación es mucho mayor debido al alto coste de las baterías.

III.IV Componentes de un sistema fotovoltaico

III.IV.I Módulos fotovoltaicos

El componente principal de un sistema de generación fotovoltaico es el módulo fotovoltaico, el cual se puede definir como “Conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la irradiación solar que incide sobre ellos” [9]. A su vez, también se puede definir el concepto de célula fotovoltaica como “Dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica” [9]. En el primer apartado de este capítulo hemos explicado el funcionamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico así que en éste nos centraremos en sus características constructivas y sus posibilidades de conexión.

Como ya se ha explicado previamente, las células fotovoltaicas están construidas a partir de una oblea de material semiconductor (generalmente silicio), de un espesor aproximado entre 100 y 500 micrómetros, en la cual se ha difundido boro sobre un lado (región p) y fósforo sobre otro lado (región n). En la cara superior, la dopada con fósforo, se coloca una rejilla metálica encargada de extraer la corriente dejando al descubierto la mayor cantidad de superficie posible para maximizar la captación de radiación solar. Por otro lado, a la cara inferior, dopada con boro, se le implanta un contacto metálico inferior también como método conductor de corriente. Finalmente, la célula se completa depositando una capa de material antirreflectante que facilita la absorción de fotones.

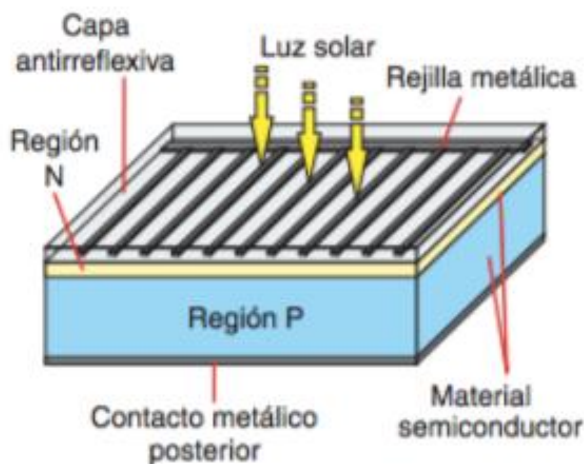


Figura 15: Esquema constructivo de una célula fotovoltaica

Los módulos fotovoltaicos se pueden categorizar en función del material de las células fotovoltaicas que lo componen. A su vez, las células se pueden dividir en células de primera, segunda y tercera generación. Mientras que las células de primera generación han sido las primeras en aparecer en el mercado y son las más extendidas en todo el mundo, las de segunda generación son una tecnología que ha surgido recientemente y que todavía está en proceso de desarrollo. Las células de tercera generación sólo son existentes a nivel de investigación y todavía no han llegado al sector comercial, sin embargo, tienen una proyección muy alta en términos de eficiencias. Como este proyecto busca una aplicación doméstica a partir de componentes comerciales, trataremos las células de primera generación, las cuales se dividen en células de silicio monocristalinas, policristalinas y de silicio amorfo:

- Células de silicio amorfo: Se obtienen al depositar silicio sobre una base de vidrio, plástico u otro material. Aunque los medios para fabricar estos módulos son caros, el mayor aprovechamiento del silicio y la necesidad de emplear menos cantidad hacen que el resultado sea el más económico de todos. Además, al estar compuestas por un material homogéneo son las que tienen una apariencia más estética. Como contraposición al precio, son las células con menor vida útil y peores rendimientos siendo estos del 4% al 8%.
- Células de silicio policristalino: Estas células se obtienen mediante la agrupación de muchos cristales de silicio. En su fabricación, se vierte el silicio en moldes cuadrados, proceso el cual es más económico que en el caso de las monocristalinas. Como consecuencia de esta diferencia, las células policristalinas están en un punto intermedio entre las amorfas y las monocristalinas tanto en términos de costes como en términos de rendimientos. Se caracterizan por su color azul levemente heterogéneo, más oscuro o claro en algunas zonas del panel. Sus rendimientos rondan el 11% al 14%.
- Células de silicio monocristalino: Las células monocristalinas están constituidas por un único cristal de silicio con estructura muy uniforme. Se trata de un material de alta pureza que garantiza un rendimiento superior debido a que los átomos de silicio están perfectamente alineados facilitando así la conductividad eléctrica. Es la tipología de célula fotovoltaica más cara, pero a su vez la más eficiente alcanzando rendimientos del orden del 12% al 16%.



Figura 16: Tipos de paneles fotovoltaicos según el material de sus células

Generalmente, los módulos fotovoltaicos comerciales utilizados en la actualidad están compuestos de entre 36 a 96 células fotovoltaicas conectadas en serie y/o paralelo. Sin embargo, además de estar formados por células fotovoltaicas, también disponen de varios elementos cuya función principal es la de proteger y dar firmeza y funcionalidad al equipo. Estos componentes son la cubierta frontal, las capas encapsuladas, el marco de apoyo, la protección posterior y la caja de conexiones eléctricas.

- Cubierta frontal: Cumple un objetivo principalmente de protección ya que se encarga de resguardar las células fotovoltaicas de los agentes atmosféricos. Como material de fabricación, normalmente se utiliza el vidrio templado con bajo contenido en hierro ya que presenta una buena resistencia contra los impactos y es un buen transmisor de la radiación solar.
- Capas encapsuladas: Son las encargadas de proteger las células fotovoltaicas, así como sus contactos. El material más utilizado es el polímero etil-vinil-acetileno ya que proporciona una buena transmisión de radiación solar y al mismo tiempo sufre una baja degradación frente a la radiación ultravioleta.
- Marco de apoyo: Es el componente encargado de dar robustez mecánica al módulo fotovoltaico. Además, permite la colocación del módulo en estructuras concretas con el objetivo de agrupar varios paneles para aumentar la producción energética. El marco debe estar fabricado de un material capaz de resistir las distintas situaciones climatológicas por lo que normalmente se utiliza aluminio al que se le hace un tratamiento de recubrimiento.
- Protección posterior: Es el elemento localizado en la parte inferior del módulo y que tiene como objetivo la protección de este frente a agentes atmosféricos, especialmente contra la humedad. Como en el caso de las capas encapsuladas, normalmente el material de fabricación es el polímero etil-vinil-acetileno.
- Caja de conexiones eléctricas: Consiste en una caja fabricada con materiales plásticos y resistentes a termofluencia, que en su interior incorpora los bornes de conexión positivo y negativo del módulo.

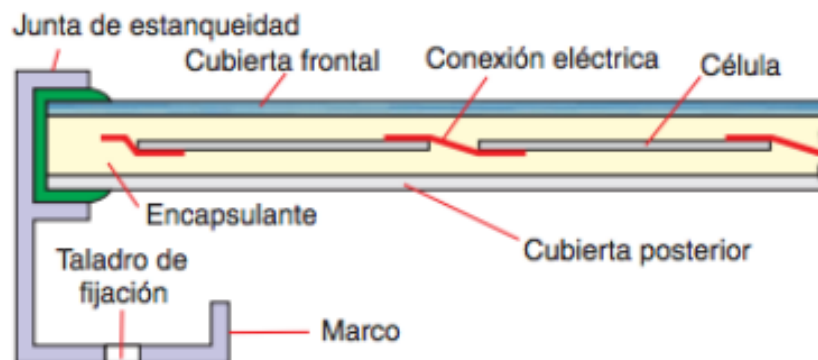


Figura 17: Esquema constructivo de un módulo fotovoltaico

Una vez vistas las características constructivas de los módulos fotovoltaicos, estudiaremos las posibles conexiones a las que pueden ser dispuestos con el objetivo de formar un generador fotovoltaico eficiente. Al igual que en cualquier esquema eléctrico básico, estas conexiones pueden ser en serie o en paralelo:

- Conexión en serie: Mediante una conexión de los módulos fotovoltaicos en serie, las corrientes que circularán por todos los módulos serán idénticas, no obstante, las tensiones individuales se sumarán. A las cadenas de módulos fotovoltaicos conectados en serie se las llama “strings”.

$$U_{\text{gen}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

$$I_{\text{gen}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

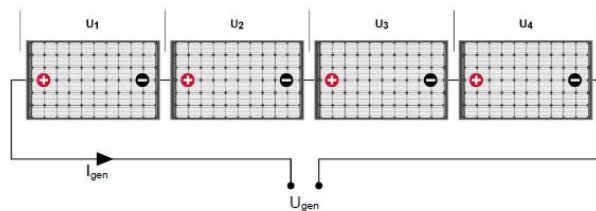


Figura 18: Esquema de conexión en serie de varios módulos fotovoltaicos

- Conexión en paralelo: Mediante una conexión de los módulos fotovoltaicos en paralelo, el resultado que tendremos será análogo al de la conexión en serie. Las tensiones que circularán por todos los módulos serán idénticas, no obstante, las corrientes individuales se sumarán.

$$U_{\text{gen}} = U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

$$I_{\text{gen}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

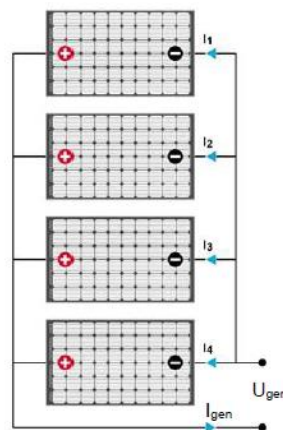


Figura 19: Esquema de conexión en paralelo de varios módulos fotovoltaicos

Para finalizar este apartado, debemos explicar el efecto de desajuste, también conocido como “mismatching” en inglés. En la práctica, no todos los módulos fotovoltaicos son iguales. Existen múltiples factores como las tolerancias en los procesos de fabricación, posibles defectos, distintas degradaciones, etc. que pueden generar variaciones en la característica eléctrica del módulo denominada punto de máximo potencia (MPP). Si la potencia máxima que un módulo es capaz de producir difiere de otro módulo al cual está conectado, se produce un fenómeno de desajuste o mismatching que dará lugar a un funcionamiento ineficiente del generador fotovoltaico. Este efecto también dependerá de si los módulos están conectados en serie o en paralelo:

- Mismatching en serie: En la conexión en serie, el módulo de menor intensidad MPP limitará el paso de la misma por la serie lo cual limitará la potencia real de salida del sistema. Si suponemos que la tensión de cada módulo es de 30 V:

$$P_{\text{teórica}} = 265 + 295 + 295 + 300 = 1155 \text{ Wp}$$

$$P_{\text{real}} = 265 \times 4 = 1060 \text{ Wp}$$

*Como conclusión, cuando existe mucha diferencia entre las corrientes a máxima potencia de los módulos, lo recomendable es la conexión en paralelo.

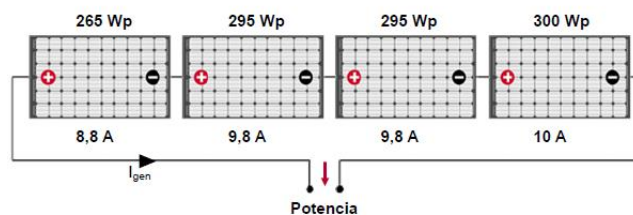
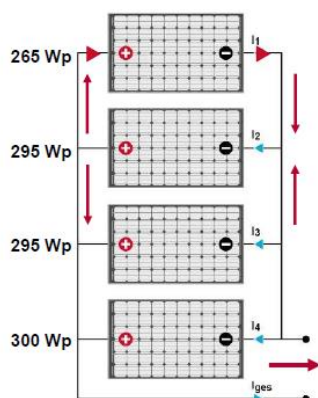


Figura 20: Esquema de conexión en serie de varios módulos fotovoltaicos

- Mismatching en paralelo: En la conexión en paralelo, el módulo de menor tensión MPP actuará como una carga, lo cual disminuirá la potencia real de salida.



$$P_{\text{teórica}} = 265 + 295 + 295 + 300 = 1155 \text{ Wp}$$

$$P_{\text{real}} = 295 + 295 + 300 = 890 \text{ Wp}$$

Figura 21: Esquema de conexión en paralelo de varios módulos fotovoltaicos

III.IV.II Baterías

En un sistema fotovoltaico, las baterías son un elemento fundamental cuyo objetivo es almacenar la energía producida mediante los módulos fotovoltaicos adaptando así tanto la disponibilidad como la demanda de electricidad en el tiempo. Generalmente, las baterías que componen el subsistema de acumulación de energía de una instalación fotovoltaica se suelen asociar en serie o en paralelo en función de su tipología y las características del sistema. Hay que destacar que el dimensionado del sistema de baterías es vital en una instalación fotovoltaica, sobre todo en sistemas aislados de la red, ya que en los momentos en los que los módulos fotovoltaicos no sean capaces de producir energía, serán las baterías quienes deberán satisfacer la demanda energética de la vivienda.

Habiendo definido el concepto de batería, es importante conocer una serie de parámetros básicos que dictan el funcionamiento de estos sistemas de almacenaje de energía:

- Capacidad: Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. Este parámetro se mide en Amperios hora (Ah).
- Voltaje de carga: Es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone la batería para ser cargada. Por otro lado, el voltaje nominal será la tensión a la que operará la batería en condiciones nominales.
- Eficiencia de carga: Es la relación entre la energía transportada a la batería y la que realmente se almacena en su interior.
- Profundidad de descarga: Representa el valor en tanto por ciento de la energía que se ha extraído de una batería. En los sistemas de acumulación comercializados actualmente, la descarga total de una batería reduce el número de ciclos de vida de la misma por lo que los fabricantes suelen determinar una profundidad de descarga recomendada que hay que respetar si se busca alargar la vida útil del producto.

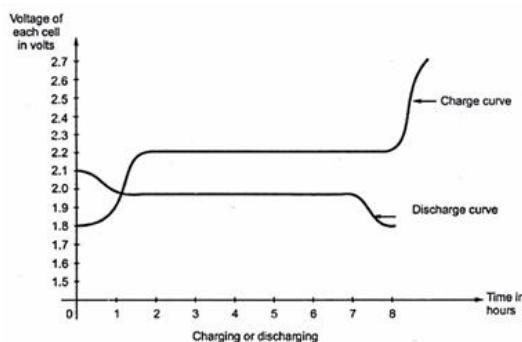


Figura 22: Curvas de carga y descarga de una batería

Como podemos observar en la Figura 22, el comportamiento de carga de una batería no es el mismo que el de descarga. Esto se ve reflejado en las curvas de carga y descarga que los fabricantes aportan en las fichas técnicas de sus acumuladores y es algo que debemos de tener en cuenta a la hora de dimensionar un sistema de almacenamiento eléctrico.

Existen multitud de tipologías de baterías, entre ellas se encuentran las de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-zinc, zinc-cloro, ion-litio, etc. A nivel comercial, las más interesantes son las de plomo-ácido, por ser las más abundantes en el mercado y las más utilizadas en este tipo de sistemas y las de ion-litio por ser las más eficientes y con mayor proyección de futuro.

- Baterías plomo-ácido: Están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él, un conjunto de placas de plomo paralelas entre sí y dispuestas alternadamente en cuanto a su polaridad. Los procesos de carga y descarga se dan lugar mediante reacciones químicas del tipo oxidación-reducción en las que, cuando se supera cierta tensión, se libera hidrógeno reduciendo así la vida útil de la batería hasta su muerte. Precisamente esta liberación de hidrógeno obliga al usuario a ubicar las baterías en zonas con ventilación para evitar posibles accidentes derivados de una combustión indeseada del gas. Este tipo de batería es el más antiguo de todos por lo que se encuentra en más del 90% de las instalaciones fotovoltaicas construidas a día de hoy. Al ser una tecnología relativamente obsoleta, su eficiencia de carga no es de las mejores del mercado (85%), tampoco lo es su capacidad de descarga (60%) y a esto hay que añadirle que suele sufrir alrededor de un 5% de autodescarga, fenómeno que conlleva la descarga de la batería sin estar ésta en uso. En contraposición, son las baterías más económicas que se pueden encontrar, aunque el precio depende mucho de la tipología y características de la misma. Dentro de las baterías de plomo-ácido existen distintas categorías, por ejemplo, en las baterías de gel el ácido se encuentra en forma gelificada lo que mejora los parámetros que acabamos de comentar. Existen otras tecnologías como la AGM en la que el ácido se encuentra fijado en fibras de vidrio obteniéndose una mejora substancial sobre todo en cuanto a eficiencia de carga.
- Baterías ion-litio: La tecnología ion-litio es, en comparación con otras, relativamente novedosa en el mercado de acumuladores eléctricos y se está imponiendo frente a su competencia debido a sus altas prestaciones. En este tipo de baterías se emplea como electrolito una sal de litio que aporta los iones necesarios para la reacción que sucede entre el ánodo y el cátodo. Su eficiencia de carga roza la unidad (97%), su capacidad de descarga es muy superior a otras tecnologías (90%), no sufren fenómenos de autodescarga ni liberan hidrógeno u otros gases al exterior. Todas estas características junto con otras muchas, posicionan a estas baterías en las posiciones más elevadas del mercado de acumulación eléctrica. Como es lógico, el precio de esta tipología de baterías es muy superior al resto, sin embargo, el incremento de las capacidades también supone una rentabilidad mayor a largo plazo.



Figura 23: Banco de baterías plomo-ácido



Figura 24: Batería ion-litio

III.IV.III Regulador de carga

El regulador de carga es el elemento que se encarga de regular voltajes y corrientes de carga de la batería, controlando la cantidad de energía que fluye desde los módulos de fotovoltaicos hasta la misma. Este sistema tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía de los módulos fotovoltaicos una vez ha alcanzado la carga máxima recomendada por el fabricante. En el caso de que se siga cargando la batería una vez se ha alcanzado la carga máxima, se originarán procesos de gasificación y calentamiento los cuales acortarán la vida útil de la batería y, en según qué casos, podrían provocar un grave accidente en la instalación. El regulador debe controlar la tensión del sistema, la cual será un indicador del estado de carga de las baterías, impidiendo el paso de la corriente en el caso de que se llegue a una tensión máxima admisible dada por el fabricante de los acumuladores.

Otra función del regulador es la de evitar la sobredescarga del sistema de baterías. Como hemos comentado en el apartado anterior, una profundidad de descarga superior a la recomendada por el fabricante puede conllevar una disminución en la capacidad de la carga de la batería en sucesivos ciclos. Con el objetivo de prevenir tanto el fenómeno de sobredescarga como el de sobrecarga, los reguladores incorporan multitud de dispositivos de protección para evitar posibles daños en los equipos que compongan el sistema fotovoltaico. Las principales tipologías de reguladores de cargas que se comercializan en la actualidad son los reguladores PWM y los reguladores MPPT:

- Reguladores PWM: Esta tipología de reguladores de carga es la de funcionamiento eléctrico más simple ya que actúa como un interruptor entre los módulos fotovoltaicos y las baterías. En cuanto a su modo de operación, los reguladores PWM fuerzan a los módulos fotovoltaicos a trabajar a la tensión de carga de las baterías, es decir, si una batería se carga a 10 V los módulos generarán también 10 V. Esto genera ciertas pérdidas energéticas respecto del punto de máxima potencia (MPP) del generador fotovoltaico. A pesar de la pérdida de eficiencia, se debe tener en cuenta que los reguladores PWM son los más baratos del mercado.
- Reguladores MPPT: Los reguladores MPPT llevan incorporados un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) y un convertidor CC-CC. El MPPT tiene como función principal operar en la entrada de los módulos fotovoltaicos al voltaje óptimo para alcanzar el punto de máxima potencia del generador. El convertidor CC-CC actúa como un transformador que disminuye la tensión para adecuarla al punto de trabajo de las baterías.



Figura 25: Regulador PWM



Figura 26: Regulador MPPT

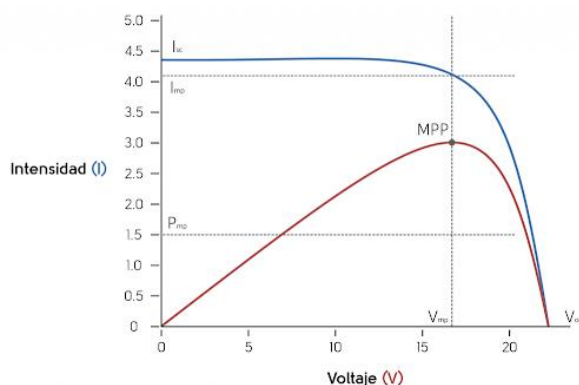


Figura 27: Curva de máxima potencia de un módulo fotovoltaico

III.IV.IV Inversor

En una instalación fotovoltaica, el inversor es el dispositivo encargado de adaptar las características de la corriente generada en los módulos fotovoltaicos a la demanda eléctrica requerida por la vivienda. Su función principal será la de modificar el tipo de onda de trabajo en la instalación transformando así la corriente continua producida en los generadores a corriente alterna empleada por las cargas. Además de la conversión a corriente alterna, el inversor deberá conferir a la corriente una frecuencia y tensión adecuada para su uso en la vivienda (En España, 230 V y 50 Hz). Por otro lado, el inversor también optimizará la producción fotovoltaica de la instalación, permitiendo obtener el máximo rendimiento de cada módulo fotovoltaico.

El inversor será el dispositivo que determinará la potencia nominal de la instalación fotovoltaica teniendo como base la potencia de generación de los módulos fotovoltaicos. Si la potencia del generador fotovoltaico es demasiado grande para el inversor, además de perderse energía debido a la función limitadora de corriente del inversor, el dispositivo se dañará acortando su vida útil al trabajar frecuentemente en un régimen de sobrecorriente. Por otro lado, tampoco se deberá sobredimensionar el inversor, ya que su rendimiento es máximo a partir de cierta potencia absorbida y disminuirá cuando la potencia a la entrada sea menor a la nominal para la cual está diseñado. En la Figura 28, la cual representa una curva de rendimiento de un inversor, se puede observar cómo disminuye la eficiencia conforme disminuye la potencia de entrada lo que corrobora que es importante evitar el sobredimensionamiento de un inversor para una instalación fotovoltaica.

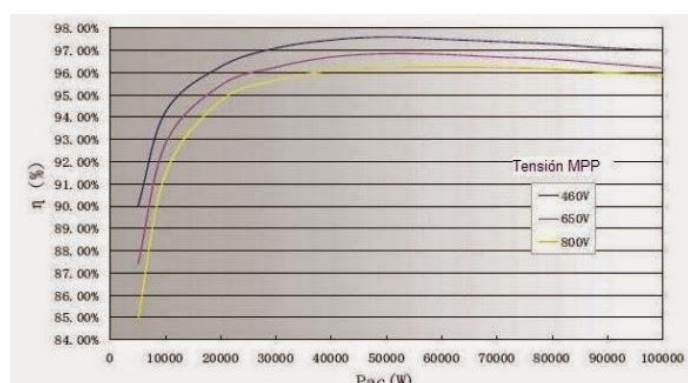


Figura 28: Curva de rendimiento de un inversor

Aunque el dimensionamiento del inversor en una instalación fotovoltaica es un tema que no se tratará en el proyecto, una decisión de diseño usada frecuentemente es usar una estimación del 80% para la potencia pico generada por los módulos fotovoltaicos ya que, las condiciones para conseguir dicha potencia (Condiciones STC) son demasiado optimistas respecto a las condiciones reales de funcionamiento. Es lógico que, dada la variabilidad de la energía radiante incidente, no es posible conseguir que el inversor trabaje siempre en condiciones óptimas por lo que se deberá realizar un dimensionado que evite tanto los problemas de sobrecorrientes y sobretensiones como los problemas de pérdidas de eficiencia por bajo punto de funcionamiento.

El circuito básico en el que se basa esta tecnología es el inversor tipo puente. A partir de una entrada de corriente continua V_d se produce una onda de salida alterna v_o mediante el disparo de interruptores en una secuencia concreta. La secuencia de disparo dependerá del tipo de control electrónico que se utilice pudiendo ser onda cuadrada, que permitirá la variación de frecuencia produciendo ondas cuadradas, cancelación de fase, que permitirá variar la frecuencia y la magnitud de v_o dando lugar a fases con tensión cero y control PWM, que aproximará la onda de salida a una sinusoidal.

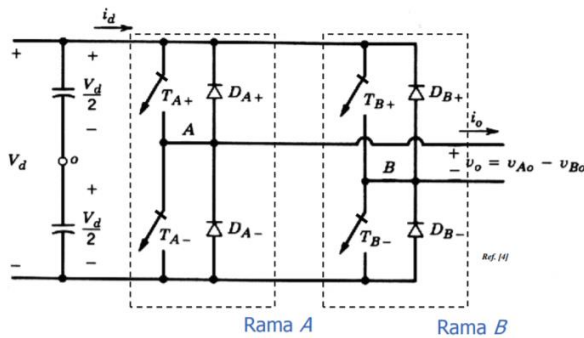


Figura 29: Esquema de un inversor tipo puente monofásico

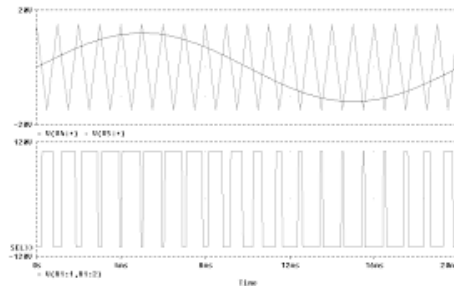


Figura 30: Onda PWM senoidal

Actualmente en el mercado, existen multitud de tipologías de inversores según diversos factores; eficiencias, coste, topología, tipo de conexión, marca, tamaño, potencia generada, etc. Una división muy general que se puede hacer de los inversores fotovoltaicos sería la de inversores para instalaciones conectadas a red o inversores para instalaciones aisladas. Desde este proyecto académico se está tratando con mayor profundidad el ámbito de las instalaciones conectadas a red por lo que se comentarán los subtipos de inversores para esta clase de instalaciones.

- Inversores tipo string: Como se ha explicado en apartados anteriores, a una cadena de módulos fotovoltaicos conectada en serie se le conoce como string. Los inversores tipo string son dispositivos que se colocan de forma individual por cada string en un campo de generación fotovoltaica. El inconveniente de esta disposición de módulos e inversor es que, si los paneles tienen un rendimiento de un 95% y uno de ellos queda sombreado en un momento concreto reduciendo su potencia a la mitad, todos los módulos del string reducirán su potencia al 50%. Esta tipología de inversores es la más utilizada, más estudiada y más barata del mercado siendo idónea en sistemas en los que el sombreado está muy controlado.

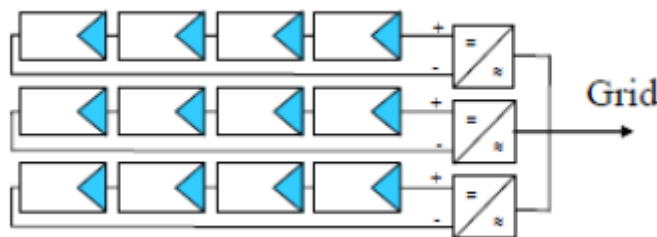


Figura 31: Esquema de una instalación fotovoltaica con inversores tipo string

- **Microinversores:** Los microinversores funcionan de forma idéntica a los inversores tipo string con la diferencia de que en vez de operar en un string completo, se sitúan en cada módulo fotovoltaico de forma individual. De esta manera, el sombreado o la pérdida de eficiencia de un módulo por cualquier otro motivo no afecta al resto de la instalación de generación. Además, también permiten realizar una monitorización individual y constante del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos permitiendo analizar cuál es el que no funciona correctamente en caso de fallo en el sistema global. Si la instalación no tiene variaciones individuales en el rendimiento de los paneles, no tiene sentido instalar este tipo de inversores, dado que el rendimiento del inversor es menor que uno de línea dado su tamaño y sus pérdidas por calentamiento y el coste es mucho mayor.



Figura 32: Esquema de una instalación fotovoltaica con microinversores

Hay que destacar que también existen otras tecnologías como, por ejemplo, los inversores centrales, los cuales se encargan de gobernar la instalación fotovoltaica global y los optimizadores de potencia, tecnología que, al igual que los microinversores, se colocan de forma individual en cada módulo con el objetivo de aumentar la eficiencia de cada uno para luego confluir en un inversor que actúe sobre todo el sistema.

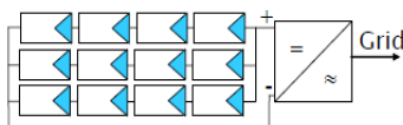


Figura 33: Esquema de una instalación fotovoltaica con inversor central

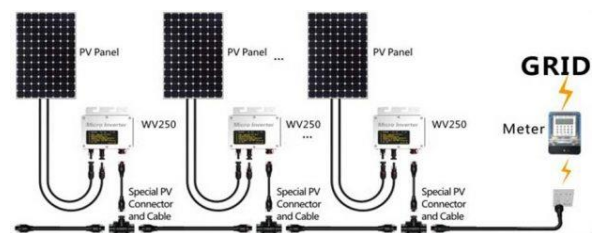


Figura 34: Ejemplo de instalación fotovoltaica con optimizadores de potencia

III.IV.V Cableado

El cableado de una instalación fotovoltaica se compone por todos los conductores eléctricos de la instalación. Un dimensionamiento de correcto o incorrecto puede suponer la aparición o la ausencia de pérdidas de energía en el sistema por lo que será una parte vital del proceso de diseño.

El parámetro limitante del sistema de cableado de una instalación fotovoltaica es la caída de tensión en el mismo. Según el Pliego de Instalaciones conectadas a red del IDAE [12], la caída de tensión en la parte del sistema de corriente continua deberá ser inferior al 1,5% y la de la parte del sistema de corriente alterna deberá ser inferior al 2% respecto de la tensión nominal de la instalación. Para calcular esta caída de voltaje se deberá partir de la intensidad de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos (I_{sc}), que será la máxima que circulará por cada string. A esta corriente se le aplicará un factor de seguridad de 1,25 para los cálculos posteriores.

Cuando una corriente (I) circula por cable de conductividad (γ), longitud (L) y sección (S), la caída de tensión (ΔV) viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta V = \frac{L}{\gamma * S} * I$$

*En el caso de que se trabaje en trifásica, habrá que multiplicar por $\sqrt{3}$.

Así pues, una vez se seleccione el tipo de cable y su disposición se sustituirán los valores de longitud y conductividad. Para la intensidad se utilizará el valor de la corriente de cortocircuito corregida obteniendo así el valor de sección mínimo a utilizar para el cableado. Como es lógico, cuanto mejor sea la conductividad eléctrica del material del cableado, menor sección será necesaria emplear en la instalación fotovoltaica. Normalmente se usarán cables de cobre, material con unos parámetros de conductividad buenos.

Por último, se insiste en que la intensidad que circulará por la instalación será el factor determinante para el diseño del sistema de cableado por lo que la elección del tipo de conexión de los módulos será de vital importancia. Por ejemplo, en el caso de que conectemos los paneles fotovoltaicos en paralelo, deberemos de sumar las intensidades de cortocircuito de cada uno obteniendo así una corriente global mucho más alta que en el caso de conexión en serie que requerirá una sección de cableado proporcionalmente mayor. Por este motivo, el tipo de conexión en serie de los módulos de un sistema fotovoltaico permiten la instalación de una tipología de cableado de menor sección, lo que conllevará un menor coste y unas pérdidas por efecto Joule también inferiores.

III.IV.VI Elementos de protección

La función principal de los elementos de protección en cualquier instalación eléctrica es la de reaccionar de la forma más adecuada ante la ocurrencia de una falla. En función del tipo de problema que ocurra en el sistema eléctrico y los distintos niveles de voltaje a los que se pueda encontrar, se precisarán unos elementos de protección u otros. Los fallos eléctricos más usuales en una instalación son los cortocircuitos, lo que supone una circulación de intensidad mucho más elevada que en condiciones normales de funcionamiento del circuito. Por ello la mayoría de elementos de protección tienen como objetivo detectarlos y eliminarlos en el menor tiempo posible y con la mínima incidencia sobre el resto de la instalación. Además de cortocircuitos, pueden darse fallos como sobrecalentamientos, sobretensiones, inversiones del flujo de potencia, variaciones de la frecuencia, etc.

En un sistema fotovoltaico, el inversor actúa como un sistema de protección frente a alguna de estas tipologías de fallas comentadas, no obstante, es necesaria la implantación de otros dispositivos para proteger el resto de la instalación y para que, en el caso de que ocurra un fallo, el inversor no sea el encargado de actuar evitando posibles daños y alargando la vida del producto. Uno de los problemas más comunes de los sistemas fotovoltaicos es que la intensidad nominal de los módulos suele ser muy próxima a la intensidad de cortocircuito, por lo tanto, será necesario ajustar las protecciones con las menores tolerancias posibles.

También es importante destacar que los elementos de protección pueden estar homologados para su funcionamiento en corriente continua o en corriente alterna. Es imperativo la instalación de, por ejemplo, interruptores magnetotérmicos para corriente continua en la parte de corriente continua del sistema fotovoltaico, es decir, entre los módulos y el inversor. De forma análoga, para la parte del sistema de corriente alterna se deberán instalar interruptores magnetotérmicos adecuados para corriente alterna. Una vez comentado esto, se mencionarán los elementos de protección más comunes en instalaciones de generación fotovoltaica:

- **Fusible:** Dispositivo constituido por un hilo o lámina metálica que se implanta en un circuito eléctrico para que en caso de fallo se funda mediante efecto Joule impidiendo el paso de la corriente. La fusión generalmente se produce por una excesiva corriente que puede hacer peligrar la integridad de los conductores bajo riesgo de incendio o destrucción de otros elementos del sistema.
- **Interruptor magnetotérmico:** Dispositivo electromecánico constituido por un electroimán y una lámina metálica cuyo funcionamiento se basa en los efectos magnéticos y térmicos que produce la corriente. El electroimán es el encargado de actuar frente a los cortocircuitos generando una acción mecánica que corta el circuito cuando detecta un exceso de corriente que modifica el campo magnético. La lámina metálica, cuando se calienta por encima de un límite, sufre una deformación que también hace saltar al dispositivo mecánico encargado de cortar el circuito.
- **Protector de sobretensión:** Dispositivo diseñado para proteger instalaciones eléctricas de picos de tensión elevados. Este tipo de elemento regula la tensión que se aplica a un equipo bloqueando o reenviando a tierra voltajes superiores a un umbral seguro. Serían los encargados de proteger la instalación en caso de que ocurriera un impacto de rayo en uno de los paneles recirculando la inmensa corriente a tierra.

- Interruptor diferencial: Dispositivo electromecánico que se instala en los circuitos eléctricos con el fin de proteger a los usuarios de posibles desviaciones de corriente. Su función principal es detectar la diferencia de electrones que entran y salen por un circuito bidireccional concreto. Si esa diferencia no es nula, significa que parte de la corriente está escapando de la instalación por otro sitio, por ejemplo, a través de una descarga accidental a una persona. Por lo tanto, en el momento en el que el interruptor diferencial percibe que la cantidad de electrones de entrada y salida no es igual, automáticamente corta la corriente.
- Interruptor de control de potencia: A efectos prácticos, es un interruptor magnetotérmico instalado después del contador eléctrico, al inicio de la instalación eléctrica de una vivienda, que tiene como función evitar que un sistema no supere la potencia contratada. Actualmente se encuentra en desuso ya que está siendo sustituido por un contador de telegestión, elemento que realiza la misma función con una mayor tolerancia de disparo.
- Interruptor general automático: Dispositivo que sirve para proteger una vivienda de posibles sobrecargas o cortocircuitos cortando el suministro de luz cuando se produce uno de estos fallos eléctricos. Además, cuando se realiza una reparación en el suministro eléctrico o cuando haya una ausencia prolongada en la vivienda, este interruptor se suele apagar evitando el flujo de corriente al interior del domicilio.

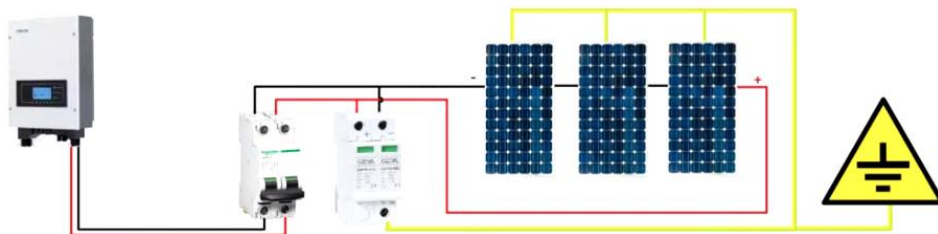


Figura 35: Esquema básico de la parte de DC de un sistema fotovoltaico con sus protecciones correspondientes [29]



Figura 36: Ejemplos de elementos de protección. Portafusibles, interruptores magnetotérmicos y protector de sobretensión [29]

III.V Rendimientos y pérdidas en un sistema fotovoltaico

Las instalaciones fotovoltaicas, en función de diversos factores como el diseño, tamaño, tecnología o situación geográfica, pueden tener producciones de energía muy diferentes entre ellas. Para evaluar la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico, surgen una serie de parámetros cuyo objetivo es el de caracterizar tanto la eficiencia como la productividad de dicha instalación.

- Índice de producción final del sistema (Final System Yield) (Y_f): Se calcula como el valor de salida de energía neta (E) dividido por el valor de potencia nominal del sistema generador fotovoltaico global (P_0). Este parámetro representa el número de horas que la instalación fotovoltaica necesitaría estar operando a potencia nominal para proporcionar la misma energía a la salida [30].

$$Y_f = \frac{E}{P_0}$$

- Índice de producción de referencia (Reference Yield) (Y_r): Se calcula como el cociente entre la irradiación total sobre el plano del generador fotovoltaico (H) y la irradiancia de referencia (G). Representa el número de horas de la irradiancia de referencia equivalentes a la irradiancia total sobre el generador [30].

$$Y_r = \frac{H}{G}$$

En la Figura 37 se pueden observar los distintos valores de irradiancias totales (H), que no se deben confundir con las irradiancias de referencia (G), en todo el territorio español. Estas irradiancias dividen la geografía española en cinco zonas climáticas en las que, cuanto más al sur nos encontremos, generalmente mayor será el recurso solar.



Figura 37: Zonas climáticas en España según su irradiancia específica

- Performance ratio: Es el parámetro más importante en cuanto al análisis de una instalación fotovoltaica ya que representa el rendimiento global del sistema. Teniendo en cuenta los valores anteriores, el performance ratio se calcula como la división del índice de producción final del sistema (Y_f) entre el índice de producción de referencia (Y_r).

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$

Desgranando la expresión y sustituyendo valores, se puede observar que, al fin y al cabo, representa una relación de las energía absorbida y producida por el sistema en condiciones reales y las energías absorbida y producida en condiciones ideales o nominales. En definitiva, expresa el efecto global de las pérdidas en el sistema sobre la energía de salida. Usualmente este valor se suele encontrar entre 0,6 y 0,8 [30].

$$PR = \frac{E * G}{P_0 * H}$$

Como es lógico, un mayor performance ratio implicará una mayor cercanía de la producción de energía a la idealidad mientras que uno menor representará unos valores más altos de pérdidas energéticas en el sistema. Sin embargo, el performance ratio tiene algunas desventajas como, por ejemplo, no distinguir entre pérdidas por altas temperaturas, pérdidas por sombras, por bajo rendimiento de los equipos o por mantenimiento defectuoso. También hay que destacar que es un parámetro inadecuado para periodos de evaluación cortos ya que, como comentamos, no tiene en cuenta la variación de la eficiencia con la temperatura ni con la irradiancia.

Para solventar este problema, se puede utilizar otro parámetro conocido como performance ratio en condiciones estándar de medida (STC). Para su cálculo se emplea el performance ratio anterior, las pérdidas térmicas (ΔE_{TC}) y las pérdidas de eficiencia debidas a baja irradiancia ($\Delta E_{G<G^*}$). En la Figura 38 se puede observar como el PR_{STC} varía menos a lo largo del día siendo óptimo para análisis para periodos cortos.

$$PR_{STC} = \frac{PR}{(1 - \Delta E_{TC})(1 - \Delta E_{G<G^*})}$$

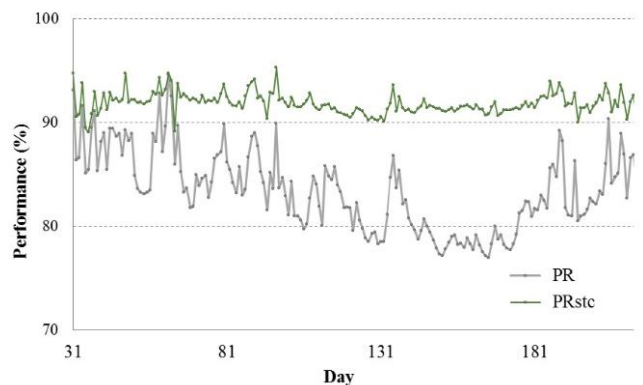


Figura 38: Comparación del PR y el PR_{STC} a lo largo del día en un sistema fotovoltaico

Como acabamos de ver, la eficiencia global de la instalación dependerá principalmente de las distintas pérdidas presentes en el sistema. Algunas de estas pérdidas serán evitables mediante un correcto dimensionamiento del sistema mientras que otras serán ineludibles por lo que las tendremos que asumir como fijas.

Antes de analizar las pérdidas en el sistema, si analizamos la evolución de la energía que incide en los módulos fotovoltaicos, podremos observar que no corresponde con la captada por el sistema en cuestión. En este proceso de absorción de energía se producen pérdidas de radiación solar debidas a distintos procesos de reflexión, incidencia de radiación de muy alta o muy baja longitud de onda, recombinación de electrones en el material semiconductor, etc. Finalmente, la energía eléctrica utilizable mediante un módulo fotovoltaico ronda el 18% de la energía solar que incide en el mismo (en el caso de silicio monocristalino).

100.0 %	Energía solar incidente
2.5 %	Reflexión
21.5 %	Fotón de energía demasiado baja debido a radiación de longitud de onda larga
30.5 %	Fotón de energía demasiado alta debido a radiación de longitud de onda corta
8.0 %	Recombinación
19.0 %	Pérdidas debidas a la región de agotamiento
0.5 %	Pérdidas de calor
≈18%	Energía eléctrica utilizable (según sea el tipo de célula monocristalino o policristalino)

Figura 39: Energía eléctrica utilizable frente a la incidente sobre un módulo fotovoltaico

Una vez comentado esto, se procederá a analizar las distintas pérdidas energéticas presentes en una instalación fotovoltaica, tanto evitables como inevitables:

- Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal: Los paneles fotovoltaicos, al ser obtenidos mediante un proceso de fabricación industrial continuo, podríamos pensar que deben ser constructivamente idénticos unos a otros. No obstante, en estos procesos de fabricación existe cierta dispersión que provoca una leve diferencia en las potencias nominales existente en estos dispositivos. En función del fabricante y del modelo, la potencia real del módulo puede variar alrededor de un 3%, 5% o 10% siendo mayor o menor que la potencia nominal de la hoja de características. En el caso de que la potencia real sea menor, la producción de energía será inferior a la que se obtendría si los paneles rindieran con una potencia real igual a la nominal.
- Pérdidas por polvo y suciedad: La deposición de polvo y suciedad en la superficie de la cubierta de un módulo fotovoltaico puede originar una disminución de la potencia debida la disminución de la corriente y tensión entregada por el sistema generador. Además, en el caso de que la suciedad esté muy localizada en una zona del panel, se puede generar un problema de mismatching que también provocará pérdidas en la producción global de electricidad.

- Pérdidas angulares y espectrales: La potencia nominal de un módulo fotovoltaico que da un fabricante está referida a unas condiciones de medida estándar (STC) que implican una incidencia de radiación perpendicular y un espectro estándar AM1.5G. Sin embargo, en la práctica ni la incidencia de los rayos solares es normal, ni el espectro es estándar durante el tiempo de operación. La incidencia de radiación suele tener un ángulo superior a 0° generando así unas pérdidas de potencia respecto a la nominal. De la misma forma, los módulos fotovoltaicos producen una corriente mayor o menor en función del espectro solar que captan. En el caso de captar uno distinto al estándar AM1.5G, se producirán unas pérdidas espectrales en la generación de energía del sistema.
- Pérdidas de mismatching: Recordando el proceso de mismatching que se trató en el primer apartado del capítulo, hay que tener en cuenta que no todos los módulos fotovoltaicos son iguales. Existen múltiples factores como las tolerancias en los procesos de fabricación, posibles defectos, distintas degradaciones, etc. que pueden generar variaciones en la característica eléctrica del módulo denominada punto de máximo potencia (MPP). Si la potencia máxima que un módulo es capaz de producir difiere de otro módulo al cual está conectado, se produce un fenómeno de desajuste o mismatching que dará lugar a un funcionamiento ineficiente del generador fotovoltaico.
- Pérdidas por temperatura de operación de la célula: Los módulos fotovoltaicos presentan unas pérdidas de potencia aproximadamente del orden de un 4% por cada 10°C de aumento respecto a su temperatura de operación (este porcentaje varía ligeramente en función de cada tecnología). La temperatura de operación de los módulos fotovoltaicos depende de los factores ambientales de irradiancia, temperatura ambiente y velocidad del viento y de la posición de los módulos o aireación por la parte posterior. Esto implica que por ejemplo a igualdad de irradiancia solar incidente un mismo sistema fotovoltaico producirá menos energía en un lugar cálido que en un clima frío.

En la siguiente figura se puede observar la variación de la intensidad y voltaje y, por tanto, de la potencia de una célula fotovoltaica en función de su temperatura de operación. Como se ha comentado, a mayor temperatura, peor funcionamiento.

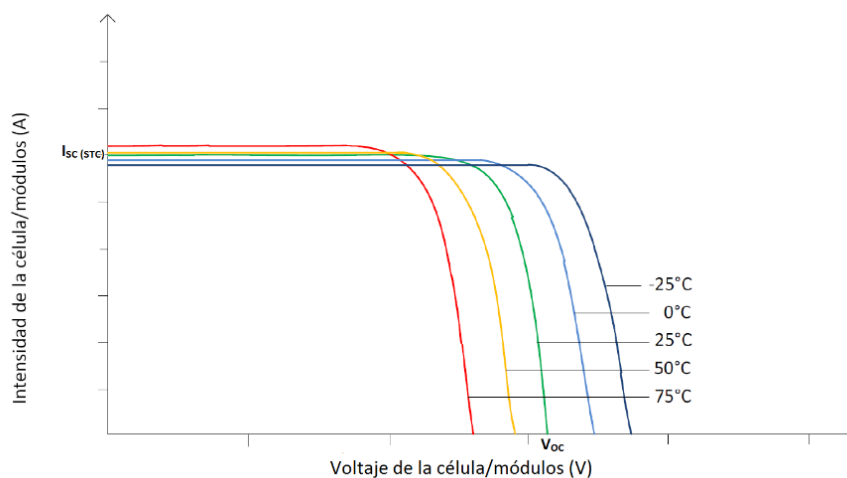


Figura 40: Variación de la intensidad y voltaje de una célula fotovoltaica en función de su temperatura de operación

- Pérdidas por sombreado sobre el campo de captación: Los sistemas fotovoltaicos de conexión a red se suelen instalar en entornos urbanos en los que, en muchas ocasiones, es inevitable la presencia de sombras en determinadas horas del día sobre los paneles generadores. Edificios cercanos al lugar donde se ubican los módulos, árboles, el vallado de la instalación, las casetas prefabricadas de los inversores, etc., pueden proyectar sombras con un efecto muy negativo en la generación eléctrica del sistema. Estas sombras provocarán unas determinadas pérdidas energéticas causadas en primer lugar por la disminución de captación de irradiación solar y por otro lado por los posibles efectos de mismatching a las que puedan dar lugar. Para poder evaluar con precisión los diferentes tipos de sombra, y sus efectos sobre los módulos, se debe realizar un análisis de sombras en el lugar de la instalación. Este análisis se refleja en el Anexo 3 del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones conectadas a la red [12]. En resumidas cuentas, el procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol. Mediante esta comparación, se usarán unas tablas de referencia presentes en el documento [12] que permitirán calcular las pérdidas por sombreado del sistema fotovoltaico.

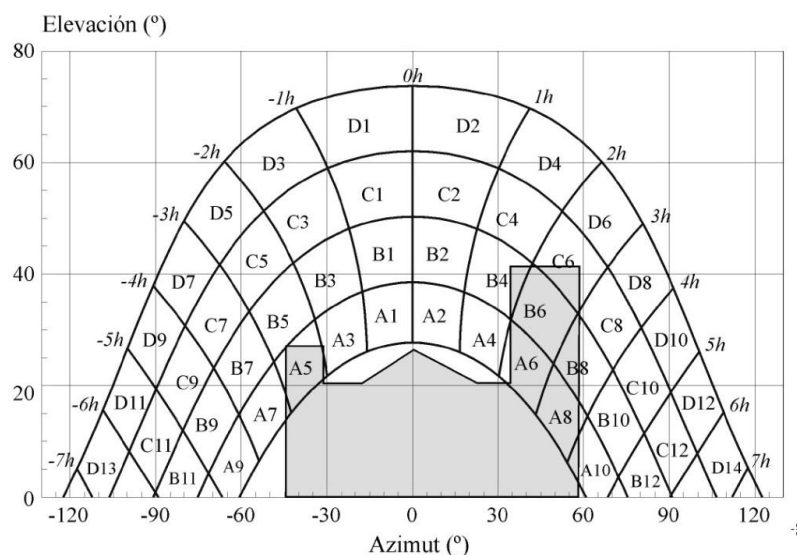


Figura 41: Perfil de trayectoria de la radiación solar para una localización dada

- Pérdidas óhmicas en el cableado: A lo largo de todo el sistema de cableado de la instalación fotovoltaica se producirán unas pérdidas energéticas originadas por efecto Joule. Estas pérdidas podrán minimizarse dimensionando adecuadamente la sección de los conductores en función de la corriente que vaya a circular por ellos.
- Pérdidas en el inversor: El inversor, como dispositivo electrónico encargado de la conversión de corriente continua a alterna, tendrá una eficiencia concreta nunca del 100%. Estas pérdidas de conversión serán relevantes en cuanto al análisis de la producción energética del sistema fotovoltaico. De la misma manera, el sistema de seguimiento de máxima potencia del inversor (MPPT) no siempre operará en el punto óptimo por lo que surgirán otras pérdidas de potencia respecto a la nominal.

